

RADIO PRIRUČNIK

ZA AMATERE I TEHNIČARE

Prof. dr Božo Metzger (YU2BR)

i suradnici:

Ing. Zvonimir Jakobović (YU2RQ)

Prof. dr Ruža Sabol (YU2LL)

Ing. Nikola Šaban

Ing. Željko Ulip (YU2REY)

**Četvrto dopunjeno izdanje
(sa posebnim prilogom)**



**Novinsko-izdavačka radna organizacija
TEHNIČKA KNJIGA
Beograd, 1985.**

Inicijator izdanja: Savez radio-amatera Jugoslavije (SRJ)

Izdavač: NIRO »Tehnička knjiga«, Beograd

Recenzent: dipl. ing. Života Nikolić

Za izdavača: Branko Nikolić, direktor i glavni urednik

Urednik: Dušica Lučić

Grafički urednik: Jugoslav Bogdanović

Korektor: Mirjana Aćimović

Dizajn crteža: Ružica i dr Božo Metzger

Crtači-izvođači: Lidija Capan, Božo Legac i Branka Mihalić

Originalne fotografije: dr Božo Metzger, ing. Željko Ulip i fototeka SRH

Foto-reprodukcije: Viktor Rybak i Marija Premužić

Tiraž: 5000

Štampa: BIGZ, Beograd

Predgovor

S razvojem radio-amaterske organizacije i sa sve većim brojem amatera-operatora i konstruktora, sve više se osjećala potreba za priručnikom koji bi mogao poslužiti i početnicima i iskusnijim graditeljima radio-uređaja, kao i radio-tehničarima.

Savez radio-amatera Jugoslavije (SRJ) došao je 1968. godine na sretnu zamisao da se za tu svrhu, kao osnovu, koristi poznati američki »The Radio Amateur's Handbook«. Od svog prvog izdanja, 1925. godine, ova radio-amaterima cijelog svijeta najpoznatija knjiga do danas je izašla u 62 izdanja i u više stotina tisuća štampanih i uvijek razgrabljenih primjeraka. To je upravo »bestseller« svih vremena. Drugi poznati i cijenjeni priručnik je britanski »The Amateur Radio Handbook« kojemu je četvrto i peto izdanje izašlo pod naslovom »Radio Communication Handbook«.

Obje radio-amaterske organizacije, American Radio Relay League (ARRL) i Radio Society of Great Britain (RSGB), najpripravnije su dale svoj pristanak za prevođenje ovih knjiga, dok je Savez radio-amatera Jugoslavije odlučio da meni povjeri organizaciju toga posla.

Poslije višekratnih diskusija složili smo se u tome da doslovno prevođenje ne bi moglo posve zadovoljiti potrebama naših radio-amatera i tehničara, da se za opisane konstrukcije mora predvidjeti — koliko je više moguće — upotreba domaćeg materijala, te da se uvrste još neki dodaci iz različitih stručnih časopisa i neke originalne konstrukcije.

Mnogi naši ugledni radio-amateri, osobito oni koji su kao radio-konstruktori i industrijski rukovodioci previše zauzeti svojim redovitim dužnostima, nisu se — na žalost — mogli odazvati pozivu na suradnju. Ipak su mi se u tome poslu pridružili: ing. Zvonimir Jakobović (YU2RQ) koji je pripremio tekst za poglavlja 1, 2, 3, 4, 23, 24 i 25; dr Ruža Sabol (YU2LL) koja je prikupila podatke o ženama radio-amaterima; ing. Nikola Šaban (»RIZ—Zagreb«) koji je napisao poglavlje 5; te ing. Željko Ulip (YU2REY) koji je napisao onaj dio poglavlja 16 u kojemu se govori o amaterskim radio-vezama na mikrovalovima (10 GHz). Oni su u tu suradnju uložili mnogo truda i povjerene su materijale obradili prema svojim najboljim mogućnostima, na čemu im i ovdje zahvaljujem.

Od časopisa smo koristili: čehoslovački »Amatérské Radio«, francuski »Radio REF«, njemačke »Das DL-QTC« i »UKW Berichter«, sovjetski »Radio«, kao i materijale domaćih autora iz našeg časopisa »Radioamater«.

Pri crtanju radio-tehničkih shema upotrebili smo simbole koji su prikazani na str. 794. Vrijednosti otpornika koje su napisane samo brojem označuju ome (Ω). Ako je iza broja slovo K ili M, radi se o kiloomima ($k\Omega$) ili o megaomima ($M\Omega$). Broj pokraj znaka za kondenzatore označuje kapacitet u pikofaradima (pF). Ako je uz broj i oznaka n ili μ , to su nanofaradi (nF) ili mikrofaraadi (μF).

Mojoj dragoj supruzi Ružici dugujem posebnu zahvalnost, jer je marljivo i ustrajno, za sva dosadašnja četiri izdanja, sudjelovala kod dizajna i

pripreme svih crteža za knjigu, čitala sve tekstove i svojim razumijevanjem uveliko doprinijela i momu radu.

Crtač-izvodač za prvo izdanje bila je Lidija Capan, za drugo izdanje Božo Legac, a za treće i četvrto izdanje Branka Mihalić. Foto-reprodukcije u prvom i drugom izdanju djelo su Viktora Rybaka. Za treće i četvrto izdanje je foto-reprodukcije izradila Marija Premužić. I ovim suradnicima srdačna i velika hvala!

Zahvaljujem također svim onim radio-amaterima koji su mi izražavanjem svojih primjedbi i želja, kao i slanjem tehničkog dokumentacijskog materijala i podataka dali vrijedne poticaje. Takođe velika hvala i firmi »Rico-Funk« iz Hannovera za tehničke podatke i snimke tvorničkih radio-uređaja s kojima, dobrim dijelom, raspolazu i naši amateri.

Također najljepše zahvaljujem preduzeću »Tehnička knjiga«, koje nije žalilo ni truda ni sredstava da knjiga bude dobro i lijepo opremljena.

U nadi da će naši radio-amateri i tehničari, kao ranija izdanja, primiti i ovo četvrto izdanje i u njemu naći što im je potrebno za lakši pristup i za rad na polju njima tako drage tehnike, molim — zajedno sa svojim suradnicima — da nam, kao i do sada, saopće svoje primjedbe i želje. Ako se i ovo izdanje »Radio-priručnika« nađe, uz prethodna tri, na radnom stolu naših radio-amatera i tehničara, bit će postignut cilj izlaženja knjige i najveće zadovoljstvo piscima.

Uz najbolje želje za uspjeh u radu i radio-amaterski pozdrav

73 DE YU2BR:

U Zagrebu, 1985.

Prof. dr Božo Metzger

RADIO-AMATERSKA ORGANIZACIJA U SVIJETU I KOD NAS

HISTORIJAT ELEKTRO-KOMUNIKACIJA

Elektro-komunikacije su se pojavile kao rezultat stoljetnih nastojanja čovjeka da vijesti prenese na veće udaljenosti nego što mu to njegovi organi i osjetila omogućuju.

Nakon uspješnih pokusa puštena je 1844. u rad prva telegrafska linija po Morseovom sistemu, između Washingtona i Baltimore-a, SAD.

S.F.B. Morse (1791—1872) konstruirao je električni telegraf. Signalni su se prenosili istosmjernim impulsima različitog trajanja. Za prenos je bila dovoljna samo jedna žica, jer je kao drugi vod korišteno uzemljenje.

Tridesetdvije godine kasnije (1876), konstruirao je G. Bell (1847—1922) telefon na principu induciranih struja i omogućio prenošenje ljudskog govora na daljinu.

Elektro-komunikacijama je bio otvoren put. Daljnja poboljšanja omogućila su bolje praktično korištenje, ali je ostao jedan nedostatak: veza se uspostavljala preko električnih vodova.

Postanak radija

U to vrijeme (1864), postavio je engleski fizičar J. Maxwel, na osnovu Faradayevih predodžbi, opću teoriju elektriciteta u kojoj je niknula hipoteza da se elektromagnetske promjene, nastale kretanjem elektriciteta, valovito šire u okolni prostor. Postojanje tih valova eksperimentalno je, na inicijativu ve-

likog njemačkog fizičara Helmholtza, dokazao njegov asistent Heinrich Hertz, godine 1888.

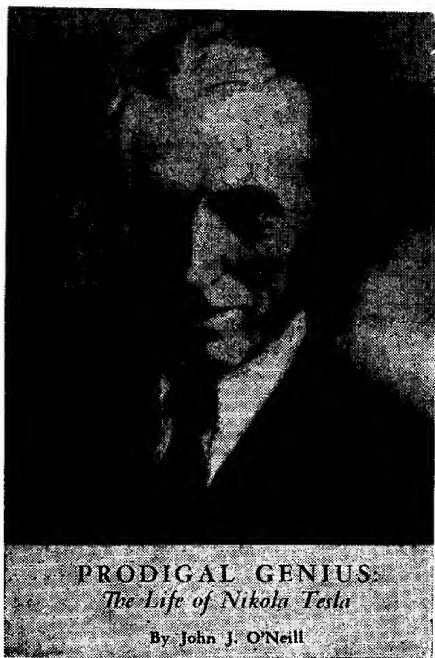
Odmah su se pojavile i ideje o primjeni elektromagnetskih valova u svrhu telekomunikacija. Sam Hertz odbija te ideje s obrazloženjem da je domet tih valova malen.

Hertz je kao izvor elektromagnetskih valova upotrijebio iskrište. Kao indikator služilo mu je drugo iskrište. Taj je indikator bio neosjetljiv, reagirao je samo u neposrednoj blizini izvora vala. Daleko bolji indikator elektromagnetskih valova, tzv. koherer, konstruirao je francuz Branly godine 1890.

Istih godina u Americi radi naš zemljak Nikola Tesla (1856—1943), baveći se problemima proizvodnje, prenosa i korištenja izmjeničnih električnih struja. On je godine 1882. postavio sistem polifaznih izmjeničnih struja, a odmah iza toga nastoji proizvoditi struje što viših frekvencija. Svoja iskustva iznosi Tesla u javnost na predavanjima koja drži 1892. i 1893. u Americi i Evropi. Na njima demonstrira i pojavu visokofrekventnih izmjeničnih struja.

Tesla se posebno interesirao za prenos električne energije na daljinu bez uobičajenih vodiča. U svom historijskom predavanju (1893) pred Franklinovim institutom u Philadelphiji pokazuje i razlaže ono, što će postati osnovni elementi radija. On utvrđuje da se prenos električne energije na daljinu može uspješno obaviti:

— upotrebom visokofrekventnih struja,



Sl. 1-1. Nikola Tesla je postavio i prvi primijenio principe radija. Ovo je slika sa omota Tesline biografije koju je napisao John O'Neill, američki književnik i dobitnik Pulitzerove nagrade za 1937. godinu

— primjenom sistema antena-zemlja,

— sklopom od dva titrajna kruga na prijemnoj i dva titrajna kruga na predajnoj stanici,

— resonancijom svih ovih krugova.

Godine 1897. Tesla prijavljuje patent za bežični prenos signala sistemom sa četiri resonantna titrajna kruga, antenom i uzemljenjem.

U to vrijeme izvodi u Rusiji pokuse i A. S. Popov. Upotrebom antene i koherera on konstruira prvi radio-prijemnik, koji je reagirao na burna atmosferska pražnjenja tzv. »vjesnik olujek«. Koristeći Hertzov oscilator i svoj prijemnik uspjeva bežičnim putem otpremiti prvi telegram na udaljenost od 250 metara,

prenoseći riječi »Genrih Gerc« (ruski oblik Hertzovog imena).

Popov je profesor fizike u tadašnjem Petrogradu. Njemu se također pripisuje izum radija. No on je (1893) vidio u Chicagu Tesline pokuse i pred Sveruskim kongresom elektrotehničara 1900. sam izjavljuje: »Upotreba katarke na otpremnoj i prijemnoj stanici s izoliranom žicom u svrhu prenošenja signala pomoću električnih titraja nije bilo ništa novo. Godine 1893. u Americi je slične pokuse prenošenja signala izvršio poznati elektrotehničar Nikola Tesla«.

U Italiji je G. Marconi vršio pokuse s Hertzovim valovima. On je pomoću utjecajnih obiteljskih veza dobio potporu engleskog kapitala. Koristeći iskustva drugih, godine 1897, on prenosi telegram na udaljenost od 13 kilometara. U prvo je vrijeme upotrebljavao predajnik s Hertzovim iskrštenjem, što znači s vrlo kratkim valovima. No, vjerojatno upoznat s Teslinim uspjesima u radu s dugim valovima, počinje njih koristiti. Godine 1899. uspostavlja Marconi bežičnu telegrafsku vezu između obala Engleske i Francuske, na udaljenost od 45 kilometara.

Nakon dugih priprema uspjeva Marconi (1901) objaviti da su bežičnim putem prenešeni telegrafski znakovi (slovo »S«) preko Atlantika, na udaljenost od 3700 kilometara, između Cornwallisa (Engleska) i Newfoundlanda (Amerika).

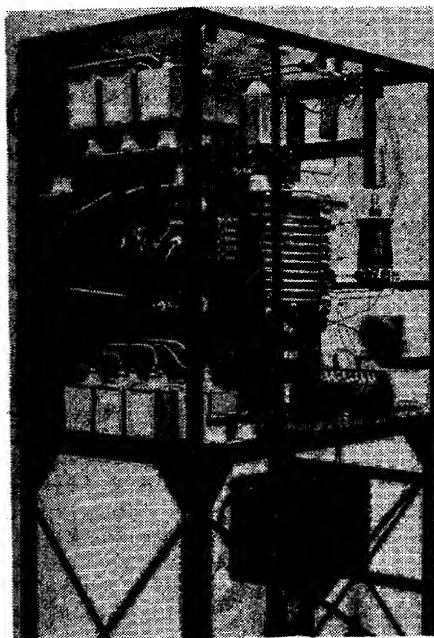
Još 1897, nakon prvih Marconijevih uspjeha, osnovana je »Wireless Telegraph Company« za korištenje Marconijevih патенata. Poslije je prerasla u »Marconi's Wireless Telegraph Company, Ltd«, koja u prvo vrijeme drži monopol radija.

Tesla je u to vrijeme zaokupljen svojim istraživanjima bežičnog prenosa energije na daljinu, a s tim u vezi i telekomunikacijama. Sam Tesla ne poduzima ništa protiv imitatora vjerujući da tako doprinosi općem napretku.

Tek poslije Tesline smrti (1943) Teslini su prijatelji pokrenuli sudski postupak, te sud u Americi poništava Marconijev patent i daje prioritet u izumu radija Tesli. Tako je ipak, ne umanjujući zasluge drugih pionira Tesla konačno priznat kao izumitelj radija.

Dalji izumi i usavršavanja omogućuju sve veću primjenu radija. Izumitelj triode Lee de Forest prenosi 1910. radiofonijski koncert poznatog tenora Enrica Carusa iz Metropolitena Opere u New Yorku.

Poslije prvog svjetskog rata radio prelazi u opću upotrebu, kao opće sredstvo telekomunikacija.



Sl. 1-2. Odašiljački dio »Radio-Zagreba« imao je 1926. godine jednu elektronsku cijev u oscilatoru koji je bio moduliran u strujnom krugu mrežice. Uz anodni napon od 4000 V bila je ulazna snaga (INPUT) 500 W. Izlazna snaga (OUTPUT) bila je 350 W. Ubrzo je dodana još jedna cijev pa je izlazna snaga podvostručena

Godine 1920. počinje u Americi redovni »broadcasting« program, u Chicagu, a iste godine počinje emitirati i prva radiofonijska stanica u Evropi, u Londonu.

U nas je 1926. proradio »Radio-Zagreb« kao prva stanica na jugoistoku Evrope, a 1929. i »Radio-Beograd«.

Radio je osvojio svijet i ušao kao uobičajeno sredstvo prenosa informacija u život čovjeka dvadesetog stoljeća. Iz radija je izrasla elektronika, televizija, radiolokacija, radar, telekomande i niz drugih specijalnih grana tehnike, bez kojih bismo teško mogli zamisliti današnji život.

RADIO-AMATERIZAM

Pionirski dani

Prve radio-stanice bile su postavljene za vezu između svjetionika, poslije za vezu s brodovima. Tek kada su provjerene prednosti, radio je počeo zamjenjivati žičani telegraf na kopnu.

Dvije su se grupe ljudi tada bavile radio-tehnikom. Prvo tehničari i fizičari u laboratorijama kompanija koje grade prve radio-uređaje. Zatim operatori, najčešće priučeno poštansko-telegrafsko osoblje, koji održavaju veze. I kod jednih i kod drugih ima ljudi koje ta nova tehnika veze posebno interesira. Oni počinju eksperimentirati s uređajima, a operatori u slobodno vrijeme održavaju i »privatne« radio veze. Tako se, regrutirani isprva iz najbližih krugova oko prvih radio-stanica, javljaju mnogi pravi ljubitelji radija. Za neke je to bavljenje samo zabava, ali mnogi od njih pokušavaju rješavati još neriješene tehničke probleme. Te ljude koji se iz ljubavi prema tehnici bave radio-tehnikom, grade uređaje i međusobno održavaju radio veze nazivaju radio-amaterima.

Dok velike tvornice uređaja pokušavaju zaštititi patentima svaki pronalazak, dotle ta neregistrirana vojska izumitelja pronalazi i u praksi iskorištava jednostavnija i praktičnija rješenja. Cijeli niz spojeva, koji nisu zaštićeni ni u jednom patentnom uredu, dali su ti entuzijasti.

U Evropi napeta politička situacija uoči prvog svjetskog rata zadržava radio kao vojno sredstvo veze. Istovremeno se u Americi radio slobodnije širi i tehnika brže razvija. Nekoliko hiljada radio-amatera u Sjedinjenim Državama osniva već godine 1914. svoje prvo veliko udruženje, ARRL (American Radio Relay League). U Evropi radio dolazi u opću upotrebu tek poslije rata. Velik broj vojnih radio-telegrafista nastavlja da se i kod kuće bave radijem, mnogi od njih čisto amaterski.

Pojavom prvih radio-fonijskih stanica, amateri su i prvi slušaoci i prvi tehničari koji sami grade svoje uređaje.

U svijetu niče sve više radio-stanica za najrazličitije potrebe. 1920-tih godina upotrebljavaju se duljine valova od nekoliko stotina metara na više. Amaterima, da ne ometaju komercijalni radio-saobraćaj i radio-foniju, dodjeljuju najprije područje ispod 200, a malo zatim ispod 100 metara, koje tada nije imalo nikakvog praktičnog značenja.

Radio-amateri su se morali »seliti« na sve kraće duljine vala. Međutim, ovdje oni pronalaze do tada nepoznate osobine kratkih valova: velik domet uz malu snagu predajnika. Tumačenje te pojave pronađeno je u refleksiji kratkih valova od slojeva ionosfere.

U želji da se ispituju mogućnosti amaterskih veza preko Atlantika, godine 1921. u Evropu odlazi američki radio-amater P. Godley (Godli). On je sa sobom ponio za onda najbolji amaterski prijemnik. S njim je uspio da primi signale tridesetak američkih amatera. Zatim su američki amateri uspjeli primiti

signale jednog engleskog i dva francuska amatera.

Atlantik je definitivno »osvojen« uspostavljanjem dvostrane amaterske radio-veze u noći 27. XI 1923. Vežu su održali na valnoj duljini oko 100 m francuski amater L. Deloy iz Nice, s pozivnim znakom 8AB, s jedne strane i američki amateri F. Schnell, K. B. Warner i J. L. Reinartz, pod pozivnim znakom 1MO, s druge strane. Veza je održana telegrafijom.

U ono vrijeme su velika poduzeća za radio-saobraćaj pokušavala da velike udaljenosti premoste primjenom radio-valova vrlo velike duljine vala, 10 000 do 30 000 metara (30 do 10 kHz) uz što snažnije predajnike i antene izvanredno velikih dimenzija. Istovremeno radio-amateri postižu na kratkim valovima znatno bolje rezultate sa mnogo slabijim snagama.

Kad se tako uvidjela prednost kratkih valova, komercijalne službe odmah se premještaju na područja ispod 100 metara.

Na međunarodnoj konferenciji za radio-komunikacije (1924) amaterima su dodijeljena samo vrlo uska područja oko 80, 40 i 20 metara, te oko 10 i 6 metara duljine vala.

Korištenje kratkih valova stvaralo je nove probleme. Ionosfera je promenljiv dio atmosfere, zavisao o zračenju Sunca, tj. o dobi dana i godine, te o aktivnosti Sunca. Za istraživanje pojava refleksije u ionosferi bio je potreban velik broj stanica, raspoređenih po cijeloj Zemlji. To iziskuje velik trošak i velike poteškoće. No, takve stanice, sa stručnim osobljem postojale su, spremne za rad. To su radio-amateri. Rezultati njihovog rada tokom niza godina daju o stanju u ionosferi najveći broj opažanja i podataka.

U to vrijeme, 1920-tih godina, radio-tehnika kao primjenjena i teorijska nauka dobila je »pravo građanstva«. Privreda, vojska, štampa, sve više koriste radio u najrazličitije svrhe. Nastaju veliki centri za

istraživanje i usavršavanje na području radio-komunikacija.

Radio-amateri od toga vremena produžuju samostalno svoj put. Brojčano se povećavaju velikom brzinom. Stvaraju se i klubovi i radio-amaterske organizacije, podučava se podmladak. Iz tih redova izlaze radio-tehničari i inženjeri. Radio-amateri su ujedno velika servisna ekipa za održavanje sve većeg broja radio-uređaja, naročito u zabačenijim krajevima. Tako svuda postaju značajni nosioci tehničke kulture.

Radio-amaterizam danas

Radio-amateri se općenito bave radio-tehnikom. Ipak, unutar toga postoji nekoliko različitih specijalnosti. Neki se od amatera bave samo s po jednom od ovih specijalnosti, no oni najbolji, za koje bi se moglo reći da su »pravi« radio-amateri, bave se podjednako svim specijalnostima.

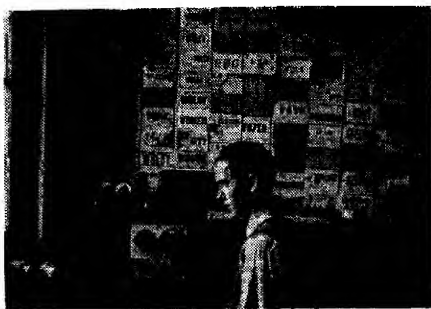
Tehničari i konstruktori grade uređaje i proučavaju ih. Amatera, koji se bavi tom specijalnosti obično zanima sam uređaj kao objekt, njegovi detalji, rad, varijacije.

Operatori održavaju radio-veze, te na tom području nastoje postići što bolje rezultate. Njih često sam uređaj ne zanima osobito. On je samo sredstvo pomoću kojega se održava radio-veza s prijateljima iz cijeloga svijeta.

Najuža grupa bavi se istraživanjem novih spojeva pri gradnji uređaja, te iznalaženjem novih, boljih načina veze.

Ova podjela specijalnosti je gruba. Unutar toga postoje varijacije, tako da svaki amater, već prema svojim sklonostima i vještini, nalazi polje rada. On radi upravo ono što ga najviše zanima i za što ima najviše sposobnosti.

Najveći uspjesi postižu se ekipnim radom u klubovima radio-amatera. Konstruktori zamišljaju i planiraju uređaje, tehničari ih izvedu, operatori s njima rade i uspostav-



Sl. 1-3. Oto Hudeček (YU3AB) je radio-amater od 1926. godine. Kao »UNLIS« radio je sa pozivnim znakovima YU7LX i YU7AA. Od 1950. g. dalje on je YU3FMA i konačno YU3AB. Bio je jedan od prvih aktivista koji su se zalagali za osnivanje radio-amaterske organizacije u Jugoslaviji. Slika je iz 1932. godine

ljaju veze. Neki opet sakupljajući sva iskustva prenose znanje novim i mlađim amaterima.

Novija nastojanja u radio-amaterizmu

Na telekomunikacije se u posljednje vrijeme stavljaju sve veći zahtjevi. Njihova velika primjena u mnogim granama ljudske djelatnosti preopteretile su preko svake mjere do sada upotrebljavana područja frekvencija. Treba naći nove mogućnosti.

Radio-amateri su i sada na dje lu. Velika ekipa oduševljenih eksperimentatora istražuje nova područja dajući dragocjene eksperimentalne podatke. Međunarodne geofizičke godine najbolje pokazuju što znači suradnja s radio-amaterima. Tko bi mogao u kratkom vremenu opremiti tisuće prijemnih stanica, obučiti osoblje i raspodijeliti po cijeloj Zemlji? Evo, tu stoje na raspolaganju radio-amateri. Godine svakodnevnog rada na radio-stanicama daju im iskustvo »osjećanja« prilika u eteru koje se ne može po-

stići običnim učenjem, nego samo upornim radom. Tisuće takvih praktičnih stručnjaka unosi svoja opažanja o vezama, o stanju u eteru, o upotrebljenoj frekvenciji, o smetnjama itd. u dnevnikke rada, koji fizičarima mogu dati dragocjene podatke o stanju u ionosferi, visini, debljini i promjeni ioniziranih slojeva.

U nizu zemalja, pa i kod nas, postavili su amateri tzv. radio-farove, predajnike koji na ultrakratkim valovima neprekidno emitiraju. Amateri ih slušaju i izvještavaju o prijemu tih signala. Na osnovu tih izvještaja prate se uvjeti prostiranja u užem geografskom području.

Ovakav rad sigurno koristi i samim radio-amaterima. Osim što upoznaju okolinu sa svojim radom, čime se povećava i razumjevanje za njihova nastojanja, oni su



Sl. 1-4. Zvonimir Stanković (YU2PE) izvodio je svoje prve pokuse još 1923. godine. Bili su to radio-uređaji sa iskrištima. Od 1927. radi sa cijevnim predajnikom i audionskim prijemnikom. Pozivni znakovi su mu bili UN7LL, YU7LL i YT7LL. I danas je aktivan radio-amater

sami prisiljeni da usavršavaju svoje znanje, metode rada i uređaje. Osim toga nije malen broj onih koji su i svoje doktorske disertacije izradili zahvaljujući prvenstveno svom amaterskom radu. Mnogi inženjeri često ne mogu da povuku oštru granicu između stručnog, profesionalnog i amaterskog rada.

Radio-amateri i specijalne radio-veze

Slično kao na slojevima ionosfere i na intenzivno ioniziranim slojevima oko polova, na »aurori«, pojavljuje se refleksija radio valova. Interesantno je, iako rijetko spominjano, da su i ovdje radio-amateri bili pioniri novog sistema radio-veze, 1938. i 1939. godine. Bili su to prvi pokusi s vezama preko aurore (»aurora borealis« = polarno svjetlo). O tim su pokusima godine 1939. izvijestili radio-amaterski časopisi »Radio« (SSSR) i »QST« (SAD).

Jasno je da su poslije prvog uporenja amatera i naučni instituti, koji se bave problemima prostiranja radio-valova, uveliko počeli istraživati pojavu radio-aurore i refleksiju radio-valova na njoj. Naravno, to je značajne rezultate postigao institut »Max Planck« iz Lindaua u S. R. Njemačkoj. Ovaj je institut došao na jednostavan način do velikog niza kontrolnih stanica jer je surađivao s radio-amaterima! Prikupljeni su podaci o radu brojnih stanica njemačkih amatera. Ove su stanice putem aurore održale 3 300 veza s preko 20 zemalja od 1957. do 1962. godine. Najviše je veza održano na udaljenosti od 200 do 1 000 kilometara. Priličan broj veza bio je i preko 1 000 kilometara. Najdalja od tih veza bila je između amatera DL6MH i GM2FHH; 1 300 kilometara!

Refleksija radarskih radio-valova od Mjeseca, koja je opažena poslije drugog svjetskog rata, zainteresirala je i radio-amatere. Uz interes i volju potrebno je mnogo vremena

za pokuse, kao i kvalitetni uređaji, koje su u to vrijeme mogli imati samo neki malobrojni amateri.

Prve pokuse vršili su W3GKP i W4AO s predajnikom snage 1 kW, i antenom od 32 elementa, na frekvenciji od 144 MHz. Prvi slabi odjek primili su 15. VII 1950. U novembru 1952. postigli su već znatno bolje rezultate, kada im se pridružio i W3LZD. Konačno 27. I 1953. primili su niz jasnih odjeka s Mjeseca. U toku tih pokusa amater W3EZJ radio je sa antenom od 127 elemenata!

Konačno su 21. VII 1960. amateri W1BU i W1HB uspjeli održati prvu obostranu vezu refleksijom od Mjeseca na frekvenciji od 1 296 MHz (23 cm). W1BU radio je s klistronskim predajnikom snage 1 kW. Prijemnik je imao propusno područje

širine 100 Hz. W1HB radio je iz Kalifornije i udaljenost između njih je iznosila oko 3 200 kilometara. On je imao klistronski predajnik snage 4 kW i prijemnik s propusnim područjem širine svega 50 Hz. Antena je bila parabolična, promjera 5 metara.

Prve pokuse u Evropi uspješno je vršila jedna grupa švicarskih i njemačkih amatera. Ova je grupa uspjela u noći 22. na 23. IV 1962. primiti odjek s Mjeseca na frekvenciji od 1 296 MHz. Tu grupu su činili HB9RG, HB9RF, DL9GU, DJ3EN i DJ4AU.

Prva veza preko Atlantika refleksijom od Mjeseca uspjela je 11. IV 1964. između OH1NL i W6DNG, na frekvenciji od 144 MHz. OH1NL je koristio predajnik snage 800 W, dok

GOD. I.

SUBOTA 3. MAJA 1924.

BR. 2. i 3.



RADIO ŠPORT

Oficielni organ Radiokluba Zagreb

Sl. 1-5. »Radio-klub Zagreb« (RKZ) osnovan je 29. marta 1924. Već u aprilu iste godine izlazi časopis »Radio šport« kao »oficijelni organ« kluba. Antene, koje se vide na slici, bile su razapete između zgrade na Griču br. 3 do kule »Loteršćak« i pripadale su telegrafskoj radio-stanici sa »gašenim iskrama« (od 1918. do 1929. g.)



Sl. 1-6. Radio-amaterski satelit kruži u orbiti oko Zemlje

je W6DNG radio s predajnikom snage 1 kW.

Najveći uspjeh u održavanju veze posredovanjem Mjeseca postigao je KP4BPZ, amater iz Puerto Rica. On je koristio na svijetu najveću antenu radio-teleskopa, s promjerom od 305 metara, koja je postavljena u Arecibu. On je u junu 1964. održao niz veza s američkim i evropskim amaterima na 70-centimetarskom i na dvometarskom području. Najinteresantnija je bila veza s engleskim amaterom G3LTF, koji je radio s predajnikom od 150 W (!) i paraboličnom antenom promjera 5 metara.

Poslije ovoga je još niz amatera uspostavilo vezu refleksijom na Mjesecu.

Od YU-amatera prvu vezu preko Mjeseca, na 144 MHz, ostvarili su članovi radio-kluba YU2CNZ (sl. 1-3), 25. V 1977. sa švedskom amaterskom stanicom SM7BAE.

Diploma WAC (»Worked All Continents« — radio sa svim kontinentima), koju je postigao 1980. godine YU2RGC na 432 MHz (70 cm) predstavlja posebno vrijedan uspjeh. Isti naš amater nastavlja takvim vezama i na frekvencijama od 1926 MHz.

Američki amateri W4AO i W4HHK došli su na pomisao da bi, analogno refleksiji u ionosferi ili na aurori, i meteoritski tragovi u gornjim slojevima atmosfere mogli

predstavljati objekt za refleksiju radio-valova. Oni su od godine 1953. vršili pokuse, isprva bez uspjeha, ali su konačno, razrađujući novu tehniku veze, uspjeli održati niz dalekih veza refleksijom na meteoritskim tragovima. Radili su na frekvenciji od 144 MHz i uspostavljajući DX veza zainteresirali i komercijalne službe.

U Evropi su počeli eksperimentirati s refleksijom na meteoritskim tragovima tek godine 1957. Švedski amater SM6BTT iz Göteborga i austrijski amater OE6AP iz Graza održavali su isprva neuspjele pokuse. U maju godine 1958. pokušavaju ponovo. U junu im se pridružuju HB9RG i SM4BIU, koji uspejaju primiti signale od OE6AP. Tek 13. i 14. XII iste godine održavaju SM6BTT i HB9RG prvu obostranu vezu preko meteoritskih tragova u Evropi, na frekvenciji od 144 MHz. Taj su eksperiment pratili i austrijski amater OE1WJ iz Beča i jugoslovenski amater YU2HK iz Kratine.

Prvu obostranu vezu iz Jugoslavije posredovanjem meteoritskih tragova održala je ekipa Akademskog radio-kluba »Mihajlo Pupin« iz Beograda, pod pozivnim znakom YU1EXY. Ova je ekipa 2. i 3. januara 1964. održala vezu s belgijskim amaterom ON4FG, na frekvenciji od 144 MHz.

Pojavom umjetnih zemljinih satelita i amateri su ih počeli koristiti kao objekte za retranslaciju signala. Samo četiri godine iza prvog umjetnog satelita (»Sputnik«, lansiran 4. X 1957) radio-amateri u SAD lansirali su prvi amaterski telekomunikacijski satelit »OSCAR« (Orbital Satellite Carrying Amateur Radio) 12. XII 1961. Iza njega slijede daljnji »oskari« i niz sovjetskih amaterskih satelita »RS«. Preko ovih satelita održali su amateri mnogo interesantnih i dalekih veza. te na taj način doprinijeli razvoju ove tehnike.

I u uspostavljanju dalekih veza na visokim frekvencijama koriste

njem raspršenja na nehomogenosti-
ma troposfere postigli su amateri
interesantnih uspjeha i time dali
dragocjene podatke o toj mogućno-
sti veze.

U najnovije vrijeme razvija se i
amaterska televizija. Amateri samo-
stalno postavljaju televizijske pre-
dajne uređaje i emitiraju program,
te se na taj način pripremaju za vi-
deo-veze u budućnosti. Prvi amater-
ski prenos slike preko Atlantika
uspio je 20. XII 1969. Sliku je iz
Amerike emitirao WA2BCW na
10-metarskom području, s predaj-
nikom snage 25 W. Primio ju je u
V. Britaniji G3AST s običnom dipol-
-antonom.

RADIO-AMATERSKE ORGANIZACIJE

U svrhu izmjene iskustava, pre-
nošenja znanja mlađima, zaštite
svojih interesa i za postizavanje
najboljih uvjeta za svoj rad, ama-
teri se organiziraju u klubove, klubi-
bovi u pokrajinske i državne saveze,
a ovi u međunarodno udruženje
amatera IARU (International Ama-
teur Radio Union). Organizacija
IARU je učlanjena u ITU (Internation-
al Telecommunication Union).
Tako radio-amateri ravnopravno su-
dieluju u međunarodnom rješava-
nju problema telekomunikacija. U
IARU je učlanjeno preko 80 zema-
lja s velikim brojem članova, od ko-
jih mnogi imaju dozvole za rad sa
primopredajnim uređajima.

Radio-amaterizam u Jugoslaviji

Kod nas se radio-amaterizam po-
javio skoro istovremeno kao i u naj-
razvijenijim zemljama. Već 1924.
osnovan je u Zagrebu prvi radio-
klub sa ciljem propagiranja radio-
fonije. U Beogradu je osnovano
»Društvo Radio« s istim ciljem.
Prvi časopis »Radio šport«, počinje
izlaziti već 1924, a prva knjiga, »Te-
legraf i telefon bez žica« dr Otona
Kućere, izlazi 1925. godine. Radio-

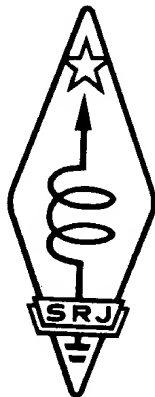
-amaterski časopis »Nikola Tesla«
počinje izlaženjem 1930-tih godina
u Novom Sadu.

U ono vrijeme se većina radio-
-amatera zadovoljava proučavanjem
prijemne tehnike, ali neki od njih
grade i predajne uređaje i održa-
vaju »UNLIS« veze (UNLIS znači
»bez licence«!) sa improviziranim
pozivnim znakovima, služeći se pre-
fiksima EJ7, UN7, YU7 i YT7. Kako
se onda nije mogla dobiti dozvola
za rad sa predajnikom, policija ih
stalno progoni. Ovakvi nepovoljni
uvjeti koče ozbiljniji rad.

Mnogi od tih predratnih amate-
ra za vrijeme narodnooslobodilač-
ke borbe organiziraju radio-veze
između okupiranih i oslobođenih
krajeva, kao i u jedinicama POJ i
NOV.

Tek poslije oslobođenja razvija
se pravi pokret radio-amatera. U
Zagrebu je već u jesen 1945. obnov-
ljen »Radio klub Zagreb«. Izdaje se
i časopis »Radio«, koji je naišao na
toliki interes da su pojedini brojevi
štampani i u tri izdanja!

Godine 1946. osniva se »Društvo
radio-amatera Jugoslavije« sa siedi-
štem u Beogradu. Ono ubrzo pre-
lazi u današnji SRJ, »Savez radio-
-amatera Jugoslavije«. Ubrzo zatim
(1947) počinje izlaziti jugoslavenski
radio-amaterski časopis »Radio-ama-



Sl. 1-7. Znak Saveza radio-amatera
Jugoslavije (SRJ)



Sl. 1-8. Nedavno preminuli Đura Borošić (YU1AG), po zanimanju arhitekt, bio je jedan od graditelja naše radio-amaterske organizacije, konstruktor, stručni pisac i izvanredan operator. Po svojim uspjesima bio je dugo vremena jedan od 10 najboljih u svijetu. Između dva rata radio je »UNLIS« sa pozivnim znakom YT7PK, da 1950. g. dobije pozivni znak YU1CAG i kasnije YU1AG. Uveliko je zadužio naše radio-amaterstvo

ter«, koji izlazi i danas. On uveliko doprinosi širenju tehničke kulture i amaterskog duha, a po stručnosti je jedan od najboljih u Evropi.

U Jugoslaviji su amateri danas organizirani u brojnim klubovima, klubovi u republičke, odnosno, pokrajinske saveze, a ovi zajedno čine SRJ.

Radio-amaterizam je u Jugoslaviji na visokom stupnju. Osim velikog utjecaja u zemlji na širenju tehničke kulture, obuci vezista, postavljanju mreže za opasnost koja pruža veliku pomoć kod poplava, potresa, itd., naši amateri uživaju ugled i u svijetu. Međunarodno priznanje dobili su i time što su bili domaćini Konferencije I regiona IARU-a, održane u Opatiji 1966.

U međunarodnom radu se Savez radio-amatera Jugoslavije angažirao

u pokretanju i pomaganju razvoja radio-amaterizma u nerazvijenim zemljama, kao i u zemljama u razvoju, i to obukom radio-amatera iz tih zemalja, prevodenjem literature, pomoći u radio-uređajima, te u pokretanju međunarodnih akcija u okviru IARU.

Žene radio-amateri

YL je kratica koja u radio-amaterskom svijetu označuje ženu radio-amaterku. Ova kratica upotrebljava se od prvih početaka radio-saobraćaja.

Žene radio-amaterke imaju u nekim državama svoje posebne sekcije (npr. u SAD). Pojedini radio-amaterski časopisi imaju stalne YL rubrike, u kojima se objavljuju novosti iz ženskog radio-amaterskog svijeta.

Naš časopis »Radio-amater« je također nekoliko godina imao posebnu YL rubriku. Urednik te rubrike bila je naša poznata radio-amaterka Lola (YU4FY) iz Sarajeva.

Pokojna Ljerka (YU2ZR) iz Rijeke, zaslužuje posebnu pažnju, jer je ona, uz ostalo, prva žena koja je bila predsjednik radio-kluba. U Zre-



Sl. 1-9. Biserka Jugović (YU2RYB, »Biba«) dijeli radio-uređaje sa svojim suprugom (YU2RYA, Željko). Aktivan je radio-operator i poštovano vodi svu administraciju svoga radio-kluba

njaninu radi veoma uspješno Mica (YU1OE).

Godine 1963, pod utjecajem oduševljenja da je prva žena poletjela u svemir, razvila se ideja osnivanja samostalnog ženskog radio-kluba, prvoga u našoj zemlji, koji je dobio ime »Radio klub 8. mart«.

Danas se smatra da više nema potrebe osnivati posebne sekcije i radio-klubove žena kao što je bilo poželjno u vrijeme razvoja i afirmacije radio-amaterstva u našoj zemlji.

Prema evidencijama Republičkih saveza radio-amatera početkom 1981 bilo je u Jugoslaviji blizu 2 500 žena sa položenim ispitom radio-operatora.

Nema dana, nema frekvencije ni radio-amaterskih takmičenja da se ne bi čuli i ženski glasovi u eteru. Žene su aktivne i u radio-amaterskoj organizaciji. Nagrade, diplome i priznanja primaju u istoj mjeri i ženski i muški članovi Saveza radio-amatera Jugoslavije.

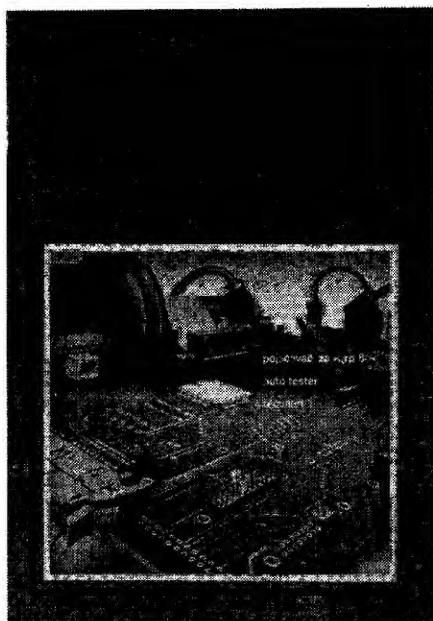
Ima čitavih obitelji u kojima su svi članovi radio-amateri, služeći se istim pozivnim znakom uz dodatke /Y, /X. U nekim obiteljima ima i više pozivnih znakova. Osim širenja tehničke kulture, ugodne razonode i sredstva za neposredne kontakte, radio-amaterstvo daje priliku za upoznavanje mnogih novih prijatelja. Radio-amaterski primopredajnik postao je svima pravi drug i kod kuće, u slobodno vrijeme, na izletima i na godišnjim odmorima.

PREGLED VAŽNIJIH DOGAĐAJA U TEHNICI ELEKTRO-VEZA I U RADIO-AMATERIZMU

- 1844: Prva telegrafska linija (Morse)
- 1876: Telefon, slusalica (Bell)
- 1878: Mikrofon (Hughes)
- 1888: Otkriveni elektromagnetski valovi (Hertz)
- 1890: Konstruiran koherer (Branly)
- 1892/1893: Prvi bežični prenos električne energije i znakova (Tesla)

- 1895: Konstruiran prijemnik »vjesnik oluje« (Popov)
- 1896: Prvi bežični telegram, na udaljenost do 250 m (Popov)
- 1897: Prenos telegrama na udaljenost do 13 km (Marconi)
- 1899: Prenos telegrama preko La Mancha (Marconi)
- 1901: Telegrafski znak »S« prenešen preko Atlantika (Marconi)
- 1904: Konstruirana elektronska cijev, dioda (Fleming)
- 1906: Prva međunarodna konferencija za bežičnu telegrafiju u Berlinu
 - prva radio-telegrafska stanica na Balkanu (Bar u Crnoj Gori)
- 1907: Konstruirana elektronska cijev za pojačavanje, trioda (Lee de Forest, Lieben)
- 1910: Prvi radiofonijski prenos koncerta (Lee de Forest)
- 1912: Konstruiran oscilator sa elektronskom cijevi (Meissner)
- 1914: Osnovano prvo udruženje radio-amatera (ARRL)
- 1919: Počinje izlaziti prvi amaterski časopis »QST«
- 1920: Prvi redoviti »broadcasting« program, prvo u Americi (Chicago), i odmah zatim u Evropi (London)
- 1921: Signali američkih amatera na dužini vala od 100 metara primljeni u Škotskoj
- 1923: Prva amaterska obostrana veza preko Atlantika (8AB i 1MO)
- 1924: U SSSR-u počinje izlaziti amaterski časopis »Radio«;
 - osnovan prvi klub prijatelja radiofonije u Jugoslaviji pod imenom »Radio-klub Zagreb«;
 - počinju izlaziti prvi radiočasopisi kod nas (»Radio-telegraf i telefon« u Beogradu i »Radio-sport« u Zagrebu);
 - radio-amaterima određena kratkovalna područja 80 40 i 20 metara, i ultrakratkovalna 10 i 6 metara;
 - prvi pokusi na UKV-u, na dužini vala od 6 m

- 1925: Izlazi prvo izdanje radio-amaterskog priručnika »The Radio Amateur's Handbook« (ARRL);
— osnovano društvo prijatelja radija u Beogradu
- 1926: Prva radiofonijska stanica u Jugoslaviji i na Balkanu (Radio-Zagreb)
- 1938: Radio-amateri otkrivaju mogućnost korištenja polarne svjetlosti (aurore) za daleke veze
- 1940: Prva amaterska veza preko Atlantika sa ultrakratkim valovima (56 MHz)
- 1945: 1. novembra počinje izlaziti »Radio, časopis za amatere i tehničare« u Zagrebu
- 1946: Osnovano »Društvo radio-amatera Jugoslavije« od kojega se razvio Savez radio-amatera Jugoslavije (SRJ)
- 1947: Počinje izlaziti časopis »Radioamater«, glasilo SRJ
- 1948: Prvi tranzistori (Bardeen, Brattain, Shockley)
- 1950: Amateri ispituju refleksiju radio-valova od Mjeseca (W4AO i W3GKP)
- 1953: Amateri otkrivaju mogućnost veze refleksijom od meteorit-skih tragova (W4HHK i W2UK)
- 1955: Prva obostrana veza preko meteorskih tragova (W4HHK i W1HDQ)
- 1960: Prva amaterska veza refleksijom od Mjeseca (W1BU i W1HB)
- 1961: Prvi kosmonaut u svemiru, radio-amater UA1LO, Jurij Gagarin



Sl. 1-10. Naslovna stranica časopisa »Radio amater«

- Prvi radioamaterski telekomunikacijski satelit »OSCAR«
- 1964: Prva veza YU amatera preko meteorit-skih tragova (YU1EXY i ON4FG)
- 1969: Prvi amaterski prenos televizijske slike preko Atlantika (WA2BCW i G3AST)
- 1977: Prva veza YU radio-amatera refleksijom signala od Mjeseca (YU2CNZ i SM7BAE)

OSNOVNI POJMOVI ELEKTRO-TEHNIKE I ELEKTRONIKE

ELEKTRICITET

Električno polje i napon

Radio-tehnika primjenjuje različite pojave »elektriciteta«. Osnovna električna pojava je djelovanje privlačnih ili odbojnih sila između tijela koja su »elektrizirana«, »nabijena elektricitetom«, »električna«, »nosioci elektriciteta«, ili slično. Prostor u kojem te sile djeluju naziva se *električno polje*. Sile su najjače uz izvor, tj. uz elektrizirano tijelo, a opadaju s udaljavanjem od njega. Električne sile, uzrokovane su dvjema vrstama elektriciteta, općenito poznatim pod nazivom *pozitivni i negativni elektricitet*. Između istovrsnih elektriciteta vladaju odbojne, a između raznovrsnih privlačne sile.

Elektricitet je vezan uz materiju. Najmanje moguće količine elektriciteta nose subatomske čestice. Elektroni nose negativni, a atomske jezgre pozitivni elektricitet. Jedinica kojom se izražava *količina elektriciteta* je »kulon« (C). Najmanja količina elektriciteta koju nosi elektron, izražena u kulonima, iznosi:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kulona.}$$

Svaka druga količina elektriciteta može biti samo cjelobrojni umnožak ove najmanje količine.

Sila između dva elektrizirana tijela (F) ovisna je o količinama elektriciteta na jednom i drugom tijelu (Q_1 i Q_2), o udaljenosti između tijela (r), te o sredstvu u kojem se ta tijela nalaze. Relacija koja po-

vezuje ove veličine je poznati Coulomb-ov (Kulonov) zakon:

$$F = k \cdot \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Utjecaj sredstva iskazan je relativnom dielektričnošću (konstantom dielektričnosti) ϵ . To je čisti broj, koji kaže koliko je puta sila F u nekom sredstvu manja nego u vakuumu. Kako je relativna dielektričnost važna za praktičnu primjenu, na tablici 2-1 su njene vrijednosti za nekoliko najčešće upotrebljavanih materijala.

Računajući u internacionalnom sustavu jedinica, sila će biti izražena u njutnima, ako količine elektriciteta uvrstimo u kulonima, udaljenost u metrima, a faktor proporcionalnosti uzmemo

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$$

U električnom polju svako elektrizirano tijelo ima, uslijed djelovanja privlačnih ili odbojnih sila, neki električni potencijal, ovisan o jakosti polja na tom mjestu i o količini elektriciteta na promatranom tijelu.

U praksi nije toliko važan apsolutni potencijal nego više *razlika potencijala* između dva tijela. Ona se obično naziva električni *napon*. Jedinica kojom se izražava potencijal, pa prema tome i napon, je »volt« (V). Za napon se upotrebljavaju i izvedene veće i manje decimalne jedinice, npr.:

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}; \quad 1 \text{ mV} = \frac{1}{1000} \text{ V}$$

$$1 \text{ } \mu\text{V} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ V}$$

Tablica 2-1. Relativna dielektričnost i probojni naponi najvažnijih izolatora

Materijal	Relativna dielektričnost	Probojni napon (kV/mm)
Uzduh (vazduh, zrak)	1	3
Bakelit	4,5 do 5,4	oko 12
Celulozni acetat	3,3 do 3,9	10 do 24
Kvarc, amorfan	3,8	40
Mikaleks	7,4	10
Pleksiglas	2,8	40
Polietilen	2,3	48
Polistirol	2,6	20 do 28
Steatit	5,8	6 do 12
Teflon	2,1	40 do 80
Tinjac (mika)	5,4	120 do 240

Osim za napon, u elektro i radio-tehnici često se uz osnovnu jedinicu upotrebljavaju i izvedene manje ili veće jedinice, koje s osnovnom jedinicom stoje u određenom

dekadskom odnosu. Nazivi tih decimalnih jedinica dobivaju se dodavanjem tzv. prefiksa nazivu osnovne jedinice, kao »kilovolt« ili »milivolt«. Tu treba paziti na vrijednost pre-

Tablica 2-2. Decimalni prefiksi mjernih jedinica

Prefiks	Vrijednost	Znak	Primjer
eksa-	10^{18}	E	Em (eksametar)
peta-	10^{15}	P	PJ (petadžul)
tera-	10^{12}	T	TΩ (teraom)
giga-	10^9	G	GHz (gigaherc)
mega-	10^6	M	MΩ (megaom, megom)
kilo-	10^3	k	kHz (kiloherc)
mili-	10^{-3}	m	mm (milimetar)
mikro-	10^{-6}	μ	μV (mikrovolt)
nano-	10^{-9}	n	nA (nanoamper)
piko-	10^{-12}	p	pF (pikofarad)
femto-	10^{-15}	f	fW (femtovat)
ato-	10^{-18}	a	am (atometar)

fiksa, npr. »kilo« = 1000 osnovnih jedinica ili »mili« = 0,001 osnovnih jedinica itd.

Na tablici 2-2 je pregled prefiksa s njihovim znakovima i vrijednostima. Izbor prefiksa uz neku mjernu jedinicu ovisi o potrebama prakse.

Električni kapacitet

Količina elektriciteta na nekom tijelu i potencijal toga tijela u uskoj su vezi. Povećanjem količine elektriciteta povisuje se i potencijal. Ako drugačije nije naznačeno onda se uvijek misli na potencijal prema zemlji. Tada se može govoriti o naponu.

Faktor proporcionalnosti između količine elektriciteta Q i napona U na istom tijelu naziva se *električni kapacitet*:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Električni kapacitet je važan pojam. Jedinica kojom se izražava kapacitet je »kulon po voltu«. Ona se zove »farad« (F). Češće se upotrebljavaju decimalne jedinice mikrofarad (μF), nanofarad (nF) i pikofarad (pF).

Kapacitet je svojstvo svakog konkretnog tijela, ovisan o geometriji tijela i njegovom položaju u prostoru. Na dva tijela koja se nalaze vrlo blizu može se staviti veća količina elektriciteta nego na jedno osamljeno tijelo, uz isti napon. Takva se kombinacija naziva *kondenzator*, koji u praksi ima veliku primjenu. Kasnije ćemo ga posebno opisati.

Vodiči i izolatori

Na nekim materijalima elektricitet miruje, dok se po drugima može kretati. Kako je elektricitet vezan za materiju, može se kretati samo u takvim materijalima u kojima ima nekih slobodnih nosilaca elektriciteta.

Materijal u kojima ima *slobodnih nosilaca elektriciteta*, elektrona

ili iona, nazivaju se *vodiči* ili *konduktori*. Materijali u kojima nema slobodnih nosilaca elektriciteta, pa se elektricitet ne može gibati, nazivaju se *izolatori* ili *dielektrici*. Vodiči su npr. metali, elektroliti, neki kristali, dok su izolatori vakuum, suhi uzduh, destilirana voda, staklo, smole, plastični materijali itd.

Podjela na vodiče i izolatore je gruba, jer postoji cijeli niz materijala koji se mogu smatrati lošim vodičima ili lošim izolatorima. U suvremenoj tehnologiji veliku primjenu imaju upravo materijali koji se po vodljivosti nalaze negdje između dobrih vodiča i dobrih izolatora, tzv. *poluvodiči*.

U čvrstim materijalima nosioci elektriciteta su slobodni ili slabo vezani elektroni, u elektrolitima su to ioni, u plinovima elektroni i ioni.

ELEKTRIČNA STRUJA

Vrste struja i jakost struja

Između dva tijela koja su u različitim električnim stanjima, bilo po količini, bilo po vrsti elektriciteta, postoji razlika potencijala, tj. napon. Slobodni nosioci elektriciteta koji se nađu u električnom polju između takva dva tijela kreću se ili prema jednom ili prema drugom tijelu. Ovo strujanje nosilaca elektriciteta može biti strujanje elektrona ili strujanje iona.

U praktičnoj elektro-tehnici i radio-tehnici najčešće se koriste pojave strujanja elektrona, koje mogu biti dvojake. Ako elektroni imaju slobodan put, pa svaki pojedini elektron prelazi cijeli put od negativnog do pozitivnog pola, govori se o *elektronskoj struji*. Kada elektron nema slobodan put (npr. u čvrstim materijalima) kretanje se odvija lančano (»štafetno«), tj. jedan elektron predaje energiju slijedećem, i tako redom. Tada se govori o »*električnoj struji*«.

Za električno strujanje važno je dvoje: da postoji napon između dva

tijela (tzv. »pola«) i da između njih postoje slobodni nosioci elektriciteta, tj. da su polovi spojeni vodičem.

Količina elektriciteta koja prođe kroz presjek vodiča u jedinici vremena zove se *jakost struje*. Jedinica kojom se izražava jakost struje je »kulon u sekundi«, nazvana »amper« (A). Upotrebljavaju se i decimalne jedinice npr. miliamper (mA), mikroamper (μ A), nanoamper (nA) itd.

Oblici struja i frekvencija

Električna struja može tokom vremena biti stalna ili promenljiva. Mijenjati se može jakost i smjer, pa oдавde i nazivi stalna struja, promjenljiva struja, te istosmjerna ili izmjenična struja.

Promjene struje po jakosti i smjeru mogu biti pravilne i nepravilne. Najjednostavnije se to prikazuje grafički. Grafički prikazi nekoliko oblika struja vide se na sl. 2-1. U prvom redu su struje stalnog smjera, i to: a) struja koja pra-

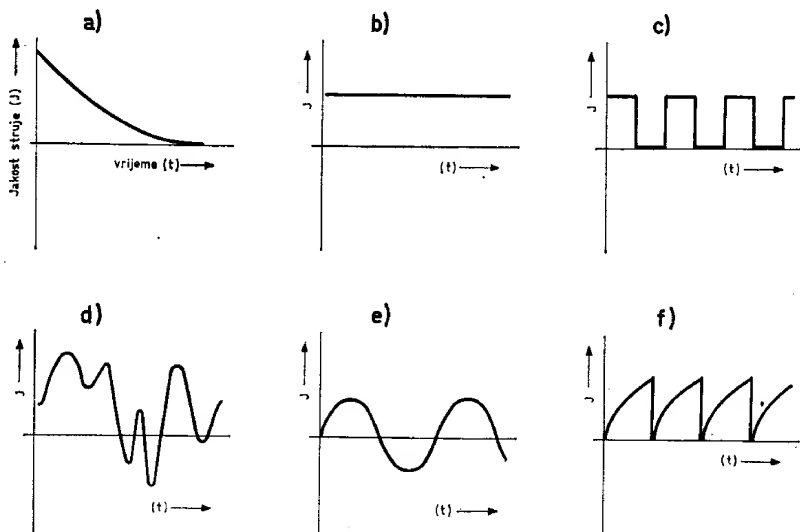
vilno opada; b) ne mijenja se i c) mijenja se pravilno. U drugom redu su struje kojima se jakost i smjer mijenjaju i to: d) sasvim nepravilno, e) pravilno po sinusnom zakonu i f) pravilno po eksponencijalnom zakonu.

U nekim slučajevima elektricitet se strujanjem prenosi na mahove, pravilnim ili nepravilnim »paketima« koji se obično zovu *impulsi*. To je struja impulsa ili slijed impulsa.

Istosmjerna struja, kojoj se jakost mijenja pravilno, naziva se pulzirajuća struja.

Broj promjena smjera ili jakosti kod izmjeničnih i pulzirajućih struja, te broj impulsa kod impulsne struje, u *jedinici vremena* naziva se *frekvencija*. Jedinica kojom se izražava frekvencija je »herc« (Hz). Upotrebljavaju se i decimalne jedinice, npr. kiloherc (kHz), megaherc (MHz), gigaherc (GHz) itd.

U anglo-američkoj stručnoj literaturi može se naći i zastarjeli naziv jedinice za frekvenciju »ciklus



Sl. 2-1. Različite struje: a) kod jednokratnog pražnjenja; b) istosmjerna struja stalne jakosti; c) slijed četvrtastih impulsa; d) nepravilna izmjenična struja; e) sinusoidalna izmjenična struja; f) slijed eksponencijalnih impulsa

u sekundi« (c/s ili cps), kao i izvedene jedinice kilociklus u sekundi (kc/s) ili megaciklus u sekundi (Mc/s). One dolaze i u nekim natpisima na američkim aparatima i uređajima. Ipak, u najnovije vrijeme i tamo prelaze na upotrebu oznaka hercima i njegovim decimalnim jedinicama.

Frekvencija je u radio-tehnici, uz napon i jakost struje, najvažnija električna veličina.

Izvor električne struje

Za praktično korišćenje potrebne su struje koje imaju određenu jakost uz određen oblik, a to će biti uzrokovano samo određenim naponom. Uređaji koji proizvode takve napone, pa se iz njih mogu crpsti struje, nazivaju se izvori ili generatori električne struje. U njima se energija iz nekog drugog oblika pretvara u električnu energiju. Prema tome izvori nose nazive kemijski, mehanički, toplinski, svjetlosni ili nuklearni.

Svaki izvor struje ima dva pola, pozitivni i negativni, ako se radi o izvoru istosmjerne struje. Između tih polova postoji određen napon. Napon između polova izvora struje je najviši, kad se struja ne crpi. Tada se on po tradiciji zove »elektromotorna sila« (E ili EMS). Umjesto elektromotorne sile obično se navode podaci kao što su nominalni (nazivni) napon ili radni napon. Neki izvori mogu davati određenu jakost struje samo neko vrijeme. Ta karakteristika izvora naziva se »kapacitet« i izražava, npr. u »ampersati ma« (Ah).

Kemijski izvori dijele se na primarne i sekundarne. U primarnim kemijskim izvorima električna struja se dobiva na račun kemijskih reakcija. Ti izvori su u praksi poznati pod nazivom galvanski elementi. Obično se slažu u baterije. Od galvanskih elemenata do danas se zadržao Leklanšev (Leclanché) tzv. suhi element. Elektromotorna sila ovog elementa je 1,5 V. Baterije, sa-

stavljene od ovih elemenata mogu imati napone od 3; 4,5; 6; 9; 12 V ili druge, ali uvijek cjelobrojne umnoške od 1,5 V.

U kemijskim sekundarnim izvorima treba prvo pomoću električne struje izvršiti neke kemijske promjene. Tek onda oni mogu davati električnu struju na račun povratnih kemijskih reakcija. Ti se elementi »pune« i »prazne«. U njima se može sakupiti, akumulirati električna energija pa se nazivaju akumulatori. Upotrebljava se nekoliko tipova akumulatora, olovni ($E = 2$ V), čelični ($E = 1,2$ V) i srebrno-cinčani ($E = 1,4$ V).

Svi se kemijski izvori sastoje od dvije različite elektrode, zaronjene u odgovarajući elektrolit.

U mehaničkim izvorima dobiva se električna struja na račun uloženog mehaničkog rada, korištenjem pojave elektro-magnetske indukcije. Ti su izvori poznatiji pod nazivom generatori. Danas se električna energija pomoću mehaničkih generatora električne struje proizvodi u obliku izmjenične električne struje u električnim centralama.

U Evropi je standardiziran napon električne mreže 220 V i frekvencija 50 Hz. U Americi i u nekim starijim gradovima Evrope napon je 110 V ili 115 V, a frekvencija 50 ili 60 Hz.

U električnim centralama redovito se proizvode Tesline trofazne struje, gdje je napon između svake pojedine »faze« i »nule« 220 V, dok je između svake dvije »faze« 380 V. Navedeni naponi su efektivni, dok su maksimalni naponi 1,41 puta viši (vidi: »Izmjenične struje«).

U tzv. termoelementima električna energija se dobiva direktno iz toplinske energije. Ovi se izvori upotrebljavaju skoro isključivo kao daljinski termometri i termoregulatori, jer su koeficijenti iskorištenja maleni. Naponi koji se dobiju termoelementom iznose najviše nekoliko milivolta.

Svjetlosnim izvorima dobiva se električna energija direktno iz svjet-

losne energije. Ti su izvori poznati i pod nazivom fotoelementi ili »sunčane baterije«. Naponi ovih elemenata iznose nekoliko desetinki volta. Upotrebljavaju se za mjerenje intenziteta svjetla. Za napajanje elektronskih uređaja služe samo u izvanrednim uvjetima, gdje ima svjetla u izobilju. Zato imaju veliku primjenu u umjetnim satelitima i na svemirskim brodovima.

U radio-tehničkoj praksi za pogon uređaja koristi se najviše izmjenična struja iz električne mreže, prilagođena potrebama pomoću ispravljača. Zatim se koriste baterije suhih elemenata Leclanchéovog tipa, rjeđe akumulatori, a sasvim izuzetno fotoelementi.

ELEKTRIČNI OTPOR

Ohmov zakon i električni otpor

Jakost struje je ovisna o električnom naponu i o vodiču u kojem teče, o njegovoj »vodljivosti«. Uobičajeno je da se umjesto vodljivosti uzima »otpor« vodiča. Dobri vodiči imaju veliku vodljivost i malen otpor, i obratno. Jakost struje prema tome, indirektno je proporcionalna s otporom vodiča. Odnos jakosti struje J , koja teče kroz neki vodič otpora R , i napona između krajnjih tačaka toga vodiča određen je Ohmovim (Omovim) zakonom:

$$J = \frac{U}{R}$$

Iz ovog se mogu izvesti i druge relacije:

$$U = J \cdot R \quad \text{ i } \quad R = \frac{U}{J}$$

Ohmov zakon ilustriran je na sl. 2-2a. Jedinica kojom se izražava otpor je »volt po amperu«, nazvan »om« (Ω). Upotrebljavaju se i decimalne jedinice kiloom ($k\Omega$) i megaom ($M\Omega$).

U osnovne električne zakone moraju se vrijednosti veličina uvršta-

vati u *osnovnim* jedinicama, npr u voltima, a ne u milivoltima ili kilovoltima i slično.

Primjeri:

1) Kolika je jakost struje koja teče kroz vodič otpora 50Ω , ako je napon između krajeva toga vodiča 10 V ?

$$J = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{50 \Omega} = 0,2 \text{ A} = 200 \text{ mA}$$

2) Ako kroz otpor od $15 \text{ k}\Omega$ teče struja jakosti $120 \mu\text{A}$, napon između krajeva iznosi:

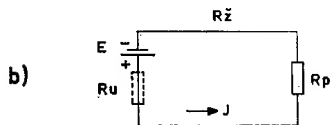
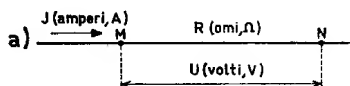
$$U = J \cdot R = 120 \cdot 10^{-6} \text{ A} \cdot 15 \cdot 10^3 \Omega = 1,8 \text{ V}$$

3) Uz napon od 24 V struja će imati jakost 80 mA , ako je otpor vodiča:

$$R = \frac{U}{J} = \frac{24 \text{ V}}{80 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = \frac{24}{80} \cdot 10^3 \Omega = 0,3 \cdot 10^3 \Omega = 300 \Omega$$

Električni otpor je karakteristika konkretnog vodiča. Ovisan je o geometrijskim dimenzijama vodiča, tj. o duljini l i presjeku q , te o materijalu od kojega je načinjen:

$$R = \rho \frac{l}{q}$$



Sl. 2-2 a) Jakost struje J kroz vodič, napon U između tačke M i tačke N na vodiču i otpor R toga dijela vodiča vezani su Ohmovim zakonom; b) jakost struje J u zatvorenom strujnom krugu određuje se tzv. drugim Ohmovim zakonom, a ovisna je o elektromotornoj sili E izvora struje i o svim otporima u strujnom krugu. Unutrašnji otpor izvora struje je R_u , a otpor potrošača je R_p . Otpor spojnih žica je R_{Σ}

Faktor proporcionalnosti ρ ovisan je samo o materijalu i naziva se otpornost ili specifični otpor materijala.

Umjesto izražavanja električnih karakteristika vodiča pojmom »otpor«, može se izraziti i pojmom »vodljivost«, pod kojom se misli na recipročnu vrijednost otpora:

$$G = \frac{1}{R}$$

Jedinica za izražavanje električne vodljivosti je »recipročni om« (Ω^{-1}) ili »simens« (S). U američkoj literaturi ta se jedinica nekada označava »mho« (obratno napisan »ohm«!). Analogno specifičnom otporu može se definirati i provodnost ili specifična vodljivost, koja je recipročna vrijednost specifičnog otpora:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Električni otpor ovisan je i o temperaturi vodiča. Otpor R kod temperature t i otpor R_0 kod neke početne temperature vezani su relacijom:

$$R = R_0 (1 + d \cdot \Delta t)$$

gdje su:

R_0 = otpor kod neke početne temperature,

R = traženi otpor kod temperature t ,

Δt = temperaturna razlika,

d = temperaturni koeficijent.

Za većinu materijala otpor raste s porastom temperature, temperaturni koeficijent je pozitivan. Samo kod nekih materijala otpor opada s porastom temperature, temperaturni koeficijent je onda negativan.

Strujni krug

Električnu struju daje izvor. Ona se koristi da vrši neki rad na uređaju koji se naziva potrošač. Potrošač se s izvorom spaja vodičima, žicama malog otpora koji se može zanemariti prema otporu potrošača.

Izvor, zajedno s potrošačem i spojnim žicama, čini *strujni krug*, sl. 2-3a. Električna struja će teći samo onda, ako je taj krug *zatvoren*.

Elektromotorna sila E uzrok je struji u strujnom krugu. Jakost struje u zatvorenom krugu je na svakom mjestu jednaka i može se izračunati iz formule koju nazivaju i drugim Ohm-ovim zakonom:

$$J = \frac{E}{R_u + R_v}$$

gdje su R_u = unutarnji otpor izvora struje, a R_v = zbroj svih vanjskih otpora (sl. 2-2b).

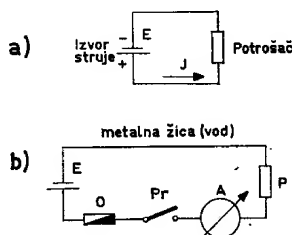
Unutarnji otpor izvora je obično vrlo malen, ispod jednog oma. Uz malen vanjski otpor, tzv. *kratki spoj*, proteći će strujnim krugom vrlo jaka struja koja može oštetiti izvor i vodiče.

Primjer:

Ako se olovni akumulator elektromotorne sile 2 V i unutarnjeg otpora 0,045 Ω kratko spoji žicom otpora 0,005 Ω , strujnim krugom će poteći struja jaka:

$$J = \frac{2 \text{ V}}{0,045 \Omega + 0,005 \Omega} = \frac{2 \text{ V}}{0,05 \Omega} = 40 \text{ A}$$

Da se spriječi pregrijavanje žica kod kratkog spoja, u strujne krugove se uključuje kratak komad ta-



Sl. 2-3. Strujni krugovi: a) jednostavan; b) složen strujni krug. Struja teče samo onda kada je strujni krug zatvoren. A = ampermetar, E = izvor električne struje, O = osigurač, P = potrošač, Pr = prekidač

njeg vodiča. Pri prolazu prejake struje pregori taj tanji vodič i tako se strujni krug prekine. To je poznati toplinski *osigurač*. Nakon uklonjenja uzroka kratkog spoja, osigurač se zamijeni novim i strujni krug je opet sposoban za rad.

U složenijem strujnom krugu, kako je pokazano na sl. 2-3b, osim izvora struje i potrošača u krug su uklopljeni i dodatni elementi, npr. toplinski osigurač (O), prekidač (Pr) i mjerni instrument, ampermetar (A).

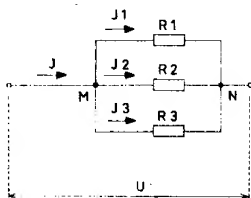
Grananje struje

Struja može teći kroz više vodiča koji se sastaju ili granaju u jednom mjestu, tzv. čvorištu. Takav slučaj prikazan je na sl. 2-4. Struja jakosti J , uz nakon U , grana se u tački M u tri grane kroz koje teku struje jakosti J_1 , J_2 i J_3 . Zbroj izlaznih struja iz čvorišta M jednak je ulaznoj struji. To je prvi Kirchhoff-ov (Kirchofov) zakon:

$$J = J_1 + J_2 + J_3$$

Koliko su jake struje u pojedinim granama, to ovisi o otporu vodiča u tim granama. Kroz veći otpor teče slabija struja i obratno. Jakosti struja su obrnuto proporcionalne otporima. Za prethodni slučaj:

$$J_1 : J_2 : J_3 = R_3 : R_2 : R_1$$



Sl. 2-4. Na mjestu gdje se sastaje više vodiča struja se grana. J = struja u »glavnom« vodu, J_1 , J_2 , J_3 = struje u ograncima. Za ove struje vrijedi Kirchhoff-ov zakon

Pad napona

Kada kroz neki vodič teče električna struja, između njegovih krajeva uvijek postoji razlika potencijala, koja se obično naziva *rad napona*. Odnos pada napona U , jakosti struje J i otpora vodiča R određen je Ohm-ovim zakonom:

$$U = J \cdot R$$

U zatvorenom krugu elektromotorna sila razdijeli se uzduž cijelog strujnog kruga na pojedine padove napona, ovisne o otporima pojedinih dijelova strujnog kruga. Zbroj svih padova napona u strujnom krugu jednak je elektromotornoj sili.

O rasporedu više elektromotornih sila u jednom strujnom krugu govori drugi Kirchhoff-ov zakon: zbroj svih elektromotornih sila u jednom strujnom krugu (uvažavajući predznake) jednak je zbroju padova napona duž toga kruga:

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 + E_3 + \text{itd.} = \\ = J \cdot R_1 + J \cdot R_2 + J \cdot R_3 + \text{itd.} \end{aligned}$$

Pomoću ovih zakona mogu se rješavati i vrlo složeni zadaci u vezi sa strujnim krugovima. U svakoj zatvorenoj petlji strujnog kruga primjenjuje se drugi a na mjestu grananja struje, prvi Kirchhoff-ov zakon.

Snaga i rad električne struje

Električna struja pri prolazu kroz vodiče vrši neki rad, zagrijava vodič, stvara magnetsko polje oko vodiča itd. Izvršeni rad će biti to veći što je veća *snaga* struje, i što je dulje vrijeme rad vršen.

Snaga struje je to veća što je viši napon i što je jača struja, pa je i veličina »snage« definirana kao umnožak napona i jakosti struje:

$$P = U \cdot J$$

Iz ovog se, pomoću Ohm-ovog zakona, mogu napisati i izvedene relacije:

$$P = J^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Jedinica kojom se izražava snaga je »volt puta amper«, nazvana »vat« (W). Upotrebljavaju se i decimalne jedinice, npr. milivat (mV), kilovat (kW), megavat (MW) itd.

Rad električne struje, a to znači utrošena odnosno dobivena energija, je umnožak snage i vremena:

$$A = P \cdot t$$

Jedinica kojom se izražava rad je »voltampersekunda« ili »vatsekunda« ili »džul«. U praksi se često upotrebljavaju umnošci jedinica snage i vremena, npr. vatsat (Wh), kilovatsat (kWh), gigavatsat (GWh) itd.

Jedinica »decibel«

Osim snage izražene u vatima, za radio-tehniku je u mnogo slučajeva važan odnos dviju snaga. Obično su to odnosi snaga na izlazu i ulazu nekog voda ili odnos promatrane snage prema nekoj referentnoj snazi:

$$k = \frac{P_2}{P_1} \text{ ili } k = \frac{P}{P_0}$$

Odnos dviju istovrsnih veličina je čisti broj, a kako on može poprimiti vrijednosti u vrlo širokom području, prikladno ga je prikazivati logaritamski. Za ovo je iz žične telefonije preuzeta bezdimenzijska jedinica »bel« (B) definirana kao dekadski logaritam odnosa snage na početku i snage na kraju linije.

Jedinica »bel« je za praksu prevelika, pa se upotrebljava deset puta manja jedinica »decibel« (dB).

Odnos snaga izražen u decibelima definiran je:

$$k = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

gdje su: P promatrana snaga, P_0 referentna snaga, a k njihov odnos izražen u decibelima. Kada se upoređuju dvije takve snage onda k pokazuje relativnu razinu snage P prema P_0 .

U elektrokomunikacijama uzima se kao referentna snaga:

$$P_0 = 1 \text{ mW}$$

na otporu od 600 Ω. Kada se neka snaga upoređuje prema referentnoj snazi od 1 mW, dobija se apsolutna razina snage P .

Snaga je direktno proporcionalna s kvadratom jakosti struje, odnosno s kvadratom napona, pa se umjesto snage mogu uspoređivati kvadrati napona, odnosno kvadrati jakosti struja, uz stalan otpor:

$$k = 10 \log \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 = 20 \log \frac{U}{U_0} \text{ dB}$$

odnosno:

$$k = 10 \log \left(\frac{J}{J_0} \right)^2 = 20 \log \frac{J}{J_0} \text{ dB}$$

Za referentnu snagu od 1 mW na 600 Ω mogu se izračunati slijedeće vrijednosti referentnog napona i referentne jakosti struje:

$$U_0 = 775 \text{ mV} \quad J_0 = 1,29 \text{ mA}$$

Positivan broj decibela znači pojačanje, dok negativni decibeli znače prigušenje.

U tablici 2-3 dan je niz vrijednosti k u decibelima i pripadni odnosi snaga odnosno jakosti struje ili napona.

Osim decibela nekada se upotrebljava i prirodni logaritam odnosa snaga, koji se izražava jedinicom »neper« (Np), definiranom ovako:

$$k = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} \text{ Np}$$

Odnosi između jedinica »decibel« i »neper« su slijedeći:

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB}$$

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}$$

Iz ovih se odnosa mogu decibeli jednostavno preračunati u nepere i obratno.

Tablica 2-3. Odnosi izraženi decibelima

Vrijednosti (dB)	Odnos snage $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$	Odnos jednakosti struje ili napona $\left(\frac{I_2}{I_1} \text{ ili } \frac{U_2}{U_1}\right)$
— 30	10^{-3}	0,032
— 20	10^{-2}	0,1
— 10	0,1	0,32
— 5	0,32	0,56
0	1	1
1	1,26	1,12
2	1,58	1,26
3	2,00	1,41
4	2,51	1,58
5	3,16	1,78
6	3,98	2,00
7	5,01	2,24
8	6,31	2,51
9	7,94	2,82
10	10,0	3,16
15	31,6	5,62
20	100	10
25	316	17,8
30	10^3	31,6
40	10^4	100
50	10^5	316
60	10^6	10^3
80	10^8	10^4
100	10^{10}	10^5

ELEKTROMAGNETIZAM

Magnetizam i elektromagnetizam

Predmeti od posebne vrste željeza koji imaju svojstvo da privlače

željezo, nikl i njihove legure nazivaju se magnetima. Na svakom magnetu postoje dva mjesta na kojima je to djelovanje izrazito. Ta mjesta su *polovi* magneta. Dvije su vrste polo-

va i na svakom magnetu nalazi se po jedan pol svake vrste. Razvijanjem magneta na dva dijela ne mogu se razdvojiti polovi, nego se dobiju dva nova magneta, svaki s po dva različita pola. Između istovrsnih polova djeluju odbojne, a između raznovrsnih privlačne sile.

Prvo praktično iskorištenje magneta je kompas. Zemlja je veliki magnet i ima magnetske polove u blizini geografskih polova. Slobodno obješena magnetska igla orijentira se u pravcu meridijana. Onaj pol magnetske igle koji je stalno okrenut prema sjevernom geografskom polu nazvan je sjeverni magnetski pol, dok onaj koji je okrenut prema južnom geografskom polu, južni magnetski pol. Često se sjeverni pol označuje sa N, a južni sa S (eng.: »north« = sjever i »south« = jug).

Prostor u kojem se očituje djelovanje magnetskih sila naziva se magnetsko polje. Magnetske i električne pojave su slične, ali između stalnih magneta i elektriciteta koji je u miru nema nikakvog međusobnog djelovanja.

Do djelovanja između magneta i elektriciteta dolazi ako se nešto *mičenja*. Tada se između magneta i vodiča kojim *teče* električna struja pojavljuju privlačne ili odbojne sile. Ove pojave se mogu tumačiti jedino uz pretpostavku da oko električne struje nastaje magnetsko polje.

Jakost magnetskog polja (H) definira se pomoću jakosti struje koja uzrokuje to polje. Izražava se jedinicom »amper po metru« (A/m). Ista jakost magnetskog polja će u različitim sredstvima uzrokovati različito magnetsko djelovanje, ovisno o tzv. *permeabilnosti* (μ) sredstva. Umnožak jakosti magnetskog polja i permeabilnosti naziva se **magnetska indukcija**:

$$B = \mu \cdot H$$

Jedinica kojom se izražava magnetska indukcija je »tesla« (T).

Magnetska indukcija se može izraziti i kao *gustoća magnetskog*

toka, tj. pomoću toka magnetskog polja Φ kroz površinu S :

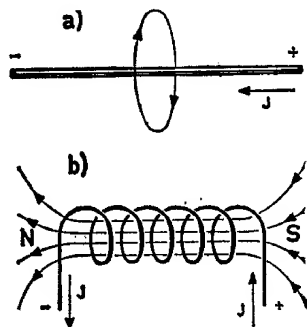
$$B = \frac{\Phi}{S}$$

Jedinica za magnetski tok je »veber« (Wb), a odnos među jedinicama je $T = Wb/m^2$.

Relativna magnetska permeabilnost μ nekog materijala karakteristična je za njegova magnetska svojstva. Većinom je μ vrlo blizu jedinici. Tvari za koje je μ malo veći od 1 nazivaju se paramagnetičke, a za koje je malo manji od 1 dijamagnetičke. Samo mali broj tvari, kojih je najizrazitiji predstavnik željezo, ima μ znatno veći od 1. Te tvari se zovu feromagnetičke. Relativni magnetski permeabilitet za pojedinu tvar nije stalna veličina, nego je ovisan o jakosti magnetskog polja H .

Magnetsko polje pojavljuje se oko svakog vodiča kroz koji prolazi električna struja. To polje je kružno, zatvoreno samo u sebe, kako je pokazano na sl. 2-5a. Smjer magnetskog polja se određuje pravilom desnog vijka (šarafa): struja teče u smjeru napredovanja vijka, a polje je u smjeru zakretanja vijka.

Ako se na nekom malom prostoru želi postići jače magnetsko polje, treba vodič kojim teče struja namotati u *zavojnici*. Magnetsko polje duguljaste zavojnice sasvim je slič-



Sl. 2-5. Magnetsko polje se prikazuje silnicama (linijama sile): a) jedna magnetska silnica ravnog vodiča kroz koji teče električna struja; b) magnetske silnice u zavojnici

no polju ravnog magneta. Smjer struje i smjer polja zavojnice vide se na sl. 2-5b.

Gustoća magnetskog toka će se povećati, ako se u zavojnicu stavi neki feromagnetski materijal. Tako se dobije elektromagnet, koji u praksi ima višestruku primjenu. Glavno svojstvo elektromagneta je da magnetsko djelovanje pokazuje samo dok njime teče struja. Jakost tog djelovanja može se unutar nekih granica regulirati pomoću promjene jakosti struje.

Elektro-magnetska indukcija

Analogno stvaranju magnetskog polja oko elektriciteta u gibanju, postoji i obratna pojava da *promjenljivo* magnetsko polje uzrokuje gibanje elektriciteta. To je pojava elektro-magnetske indukcije.

Indukcija se može, u principu, ostvariti na dva načina. Osnovni je uvjet da se magnetsko polje, u kojem se nalazi vodič, mijenja. Promjena se može načiniti *pomicanjem* nekog magneta prema vodiču. Da pojava bude očitija upotrebljava se zavojnica, kako je pokazano na sl. 2-6a. Drugi je način da se *mijenja*

jakost magnetskog polja elektromagneta, bilo da se prekida strujni krug kao na sl. 2-6b ili da se elektromagnet napaja izmjeničnom strujom kao na sl. 2-6c.

U zavojnici se inducira elektromotorna sila E_i koja uzrokuje struju u vodiču, ukoliko je strujni krug zatvoren.

Na pojavu elektro-magnetske indukcije osniva se niz praktičnih uređaja: na pomicanju *generatora*, na prekidanju *induktor*, a na napajanju izmjeničnom strujom *transformator*.

Magnetsko polje jedne zavojnice djeluje na drugu zavojnicu i ta se pojava naziva *međuidukcija*.

Promjena magnetskog polja, prouzročena promjenom jakosti struje, inducira i u *istoj* zavojnici neku elektromotornu silu. To je pojava *samoindukcije*. Inducirana elektromotorna sila je po smjeru *suprotna* uzroku koji ju proizvodi, dok je po intenzitetu ovisna o zavojnici i o brzini promjene struje:

$$E = -L \frac{\Delta J}{\Delta t}$$

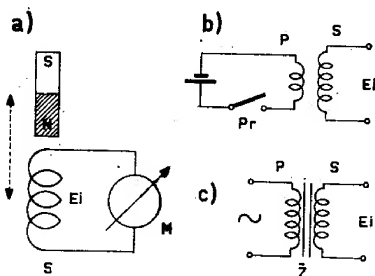
Koeficijent proporcionalnosti L karakterizira konkretnu zavojnicu, a naziva se *koeficijent samoindukcije* ili *induktivitet* zavojnice. Jedinica kojom se koeficijent samoindukcije izražava je »voltsekunda po amperu« (Vs/A). Dobila je naziv »henri« (H). Upotrebljavaju se i decimalne jedinice milihenri (mH) i mikrohenri (μH).

Induktivitet je vrlo važna karakteristika svake zavojnice. Ovisna je o obliku i dimenzijama zavojnice; o broju zavoja, o promjeru zavojnice, o debljini žice, o duljini zavojnice i o sredstvu u kojem se zavojnica nalazi, o njenoj magnetskoj permeabilnosti.

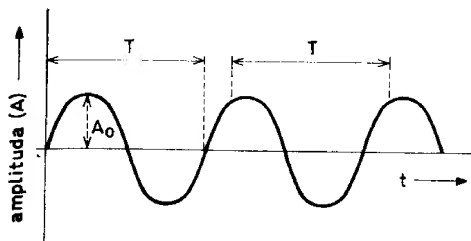
IZMJENIČNE STRUJE

Karakteristične veličine

U praksi je svaka struja koja mijenja smjer *izmjenična struja*. Promjene mogu biti različite. Ako se



Sl. 2-6. Tri načina pojave induciranih struja: a) pomicanjem u polju stalnog magneta; b) prekidanjem struje u primarnom strujnom krugu; c) napajanjem primarne zavojnice izmjeničnom strujom. U sva tri slučaja zavojnica S, u kojoj se inducira elektromotorna sila E_i , izložena je djelovanju promjenljivog magnetskog polja. Željezna jezgra Z pojačava ovo djelovanje



Sl. 2-7. Osnovne karakteristike neke veličine koja se mijenja po zakonu sinusa. A_0 = maksimalna vrijednost (amplituda), T = vrijeme jednog titraja (perioda). Vijugava krivulja je sinusoida

drugačije ne naznači, onda se pod »izmjenična« obično misli na takvu struju koja se mijenja po zakonu sinusa. Grafički je možemo prikazati sinusoidom, sl. 2-7. Takvu struju nazivamo i sinusoidna ili sinusna struja. Slovom T označeno je vrijeme trajanja jednog titraja ili perioda. Broj titraja u sekundi je frekvencija:

$$f = \frac{1}{T}$$

Bilo kakvu sinusoidnu promjenu možemo prikazati formulom:

$$a = A_0 \sin \frac{2\pi}{T} t = A_0 \sin 2\pi f t$$

gdje je a trenutna vrijednost, A_0 maksimalna vrijednost, a t vrijeme. Umjesto $2\pi f$ možemo pisati ω , što se naziva »kružna frekvencija« ili »pulzacija«:

$$a = A_0 \sin \omega t$$

Za izmjenični napon i jakost struje može se prema tome pisati:

$$u = U_0 \sin \omega t \quad i = J_0 \sin \omega t$$

Trenutne vrijednosti su označene malim slovom, a maksimalne velikim.

Za vršenje rada, npr. za ugrijavaње, važna je tzv. *efektivna srednja vrijednost izmjeničnog napona* (U_{ef}), odnosno struje (J_{ef}). Efektivne vrijednosti odgovaraju onim istosmjernim vrijednostima s kojima

bi se mogao postići isti rad, npr. jednako zagrijavanje. Efektivne vrijednosti su $\sqrt{2}$ puta manje od maksimalne vrijednosti.

$U_0 = U_{ef} \cdot \sqrt{2} = 1,41 U_{ef}$ ili $U_{ef} = 0,707 U_0$ odnosno:

$$J_0 = J_{ef} \cdot \sqrt{2} = 1,41 J_{ef} \quad \text{ili} \quad J_{ef} = 0,707 J_0$$

Ako nije drugačije navedeno, misli se obično na efektivnu vrijednost, koja se onda bilježi bez indeksa »ef«. Tako je, npr. poznato da je izmjenični napon električne mreže 220 V. To je efektivna vrijednost, što znači da napon postiže maksimalnu vrijednost:

$$U_0 = 1,41 \cdot 220 \text{ V} = 310 \text{ V}$$

Kompleksni otpor

Otpor materijala koji se očituje pri prolazu struje neovisan je o vrsti struje, dakle jednak je za istosmjernu i za izmjeničnu struju. Taj otpor, obilježavan obično s R , stalna je veličina za konkretni vodič, a naziva se raznim imenima kao »omski«, »toplotvorni« (termogeni), »realni« otpor.

Pri prolazu izmjenične struje kroz zavojnicu dolazi do pojave samoindukcije. Inducirana elektromotorna sila je po djelovanju suprotna pa se očituje kao neki novi, dodatni otpor, tzv. *induktivni otpor* R_L . Induktivni otpor ovisan je o induktivitetu zavojnice i o brzini promjene, dakle o frekvenciji izmjenične struje:

$$R_L = \omega L$$

Induktivni otpor zavojnice je promjenljiva veličina, jer ovisi o frekvenciji.

Radi pojave samoindukcije, pri uključivanju napona na zavojnicu potrebno je neko vrijeme da struja poprimi punu vrijednost. Kod izmjenične struje se to stalno događa, pa strujni maksimum kasni, vremenski dolazi iza naponskog maksimuma. Kaže se da struja kasni iza napona. Zakašnjenje za zavojnicu

bez »omskog« otpora je $T/4$, što u jedinicama kuta iznosi $\pi/2$ ili 90° .

Istosmjerni napon, stalno priključen na kondenzator ne može uzrokovati struju, jer kondenzator nema vodljivosti. Međutim, ako se kondenzator nalazi u krugu izmjenične struje, ona će teći, jer se kondenzator uzastopno puni i prazni. Kondenzator dakle djeluje kao neki otpor za izmjeničnu struju, tzv. *kapacitivni otpor* R_C . Ni kapacitivni otpor kondenzatora nije stalna veličina, jer — osim o kapacitetu kondenzatora — ovisi o frekvenciji:

$$R_C = \frac{1}{\omega C}$$

Kapacitivni otpor je to manji što je kapacitet kondenzatora veći i što je viša frekvencija.

Kada struja poteče, treba neko vrijeme da se napuni kondenzator, pa naponski maksimum kasni iza strujnog maksimuma. Za kondenzator bez gubitka kašnjenje iznosi $T/4$, odnosno $\pi/2$ ili 90° .

Induktivni se otpor katkada naziva i »induktancija«, a kapacitivni »kapacitancija«. Oni su po dielovanju na izmjeničnu struju upravo suprotni pa se moraju algebarski zbrajati, tj. sa suprotnim predznakom. Njihov rezultirajući otpor X naziva se »prividni«, »jalovi«, »imaginarni« otpor ili »reaktancija«:

$$X = R_L - R_C$$

U krugu izmjenične struje mogu se naći sve tri vrste otpora. Slučaj njihovog serijskog spoja pokazan je na sl. 2-8a. Tu se nalaze: otpornik s čistim omskim otporom R , zavojnica s čistim induktivnim otporom R_L , te kondenzator s čistim kapacitivnim otporom R_C . Ukupni otpor sva tri ova otpora naziva se »kompleksni« otpor ili »impedancija« Z . Impedancija se ne može dobiti jednostavnim algebarskim zbrajanjem sva tri otpora, budući da oni različito djeluju na tok izmjenične struje. Impedancija se dobije geometrijskim zbrajanjem, kako je to ilustrirano na sl. 2-8b. Otpori su pre-

dočeni vektorima. Koristeći geometrijske odnose, impedancija se izračunava ovako:

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L + R_C)^2}$$

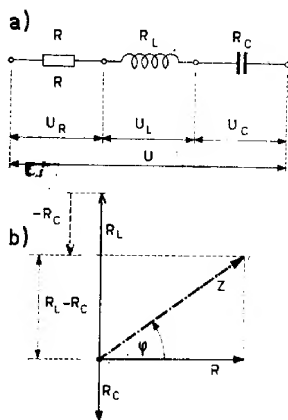
ili kada se uvrste iznosi za kapacitivni i induktivni otpor:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}$$

Impedancija Z razlikuje se od omskog otpora R i po veličini i po fazi. Kut φ je tzv. *fazni kut*. Iz crteža na sl. 2-8b slijedi:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Kosinus faznog kuta φ ima posebno značenje i važnost. On pokazuje odnos realnog otpora u krugu izmjenične struje i impedancije, tj. kompleksnog otpora. Ako je kut φ nula, onda se impedancija Z poklapa s realnim otporom R , što znači da ili nema induktivnog i kapacitivnog otpora u strujnom krugu ili se oni međusobno sasvim poni-



Sl. 2-8. a) Serijski spoj otpornika, zavojnice i kondenzatora, priključen na izmjenični napon, pruža struji realni otpor R , induktivni otpor R_L i kapacitivni otpor R_C ; b) Vektorski prikaz odnosa otpora R , R_C i R_L , te rezultirajući otpor (impedancija) Z . Kut φ je mjera za pomak faze

štavaju, $\cos \varphi = 1$. Struja vrši maksimalno mogući rad.

Ako je kut $\varphi = 90^\circ$, znači da u krugu nema omskog otpora, nego je samo kapacitivni ili samo induktivni. U tom slučaju struja ne vrši nikakav rad, $\cos \varphi = 0$.

Vrijednost kosinusa kuta φ može također biti između jedinice i nule. On je mjera rada koji struja vrši. U ekstremnim slučajevima struja je čisto radna ili čisto nekorisna («jalova»), dok između toga rad električne struje sadrži i radnu i jalovu komponentu.

Da se dobije snaga izmjenične struje, mora se umnožak napona i jakosti struje pomnožiti sa $\cos \varphi$:

$$N = U \cdot J \cdot \cos \varphi$$

Izmjenični napon U između krajeva serije na sl. 2-8a je sastavljen od tri pojedinačna napona različitih faza. Da se izračuna napon U također se mora primijeniti geometrijsko zbrajanje:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L + U_C)^2}$$

gdje je:

$$U_R = JR$$

$$U_L = JR_L$$

$$U_C = JR_C$$

U tim relacijama već je primijenjen Ohm-ov zakon za izmjeničnu struju. On odgovara zakonu za istosmjernu struju, samo se pod »otporom« razumije kompleksni otpor ili njegovi dijelovi, već prema konkretnom slučaju. Općenito, jakost izmjenične struje direktno je proporcionalna naponu, a indirektno impedanciji:

$$J = \frac{U}{Z}$$

Uvijek se računa s istim parom vrijednosti napona i struje: ili sa efektivnim ili sa maksimalnim vrijednostima.

Skin-efekt

Realni, »omski« otpor vodiča jednak je za istosmjernu i izmjeničnu struju samo tako dugo dok je frek-

vencija izmjenične struje niska, do nekoliko kiloherca. Pri višim frekvencijama gustoća struje nije jednoliko raspoređena po presjeku vodiča. Električna struja teče uglavnom uz površinu vodiča i ta se pojava naziva »skin-efekt« (engl.: skin = koža, ljuska, površinski sloj).

Radi pojave skin-efekta smanjuje se korisni presjek vodiča, što izaziva povećanje otpora. Povećanje otpora je to izrazitije što je vodič većeg presjeka i što mu je površina veća. Osim toga povećanje otpora ovisno je o obliku presjeka i upravo je uobičajeni kružni presjek vodiča nepovoljan. Računanje povećanja otpora vodiča radi skin-efekta nije jednostavno. Za okrugli presjek bakrenog vodiča otpor za izmjeničnu struju može se izračunati iz empijske relacije:

$$R' = 4 d R \sqrt{f}$$

gdje su:

R = realni otpor za istosmjernu struju,

d = promjer vodiča u mm,

f = frekvencija struje u MHz,

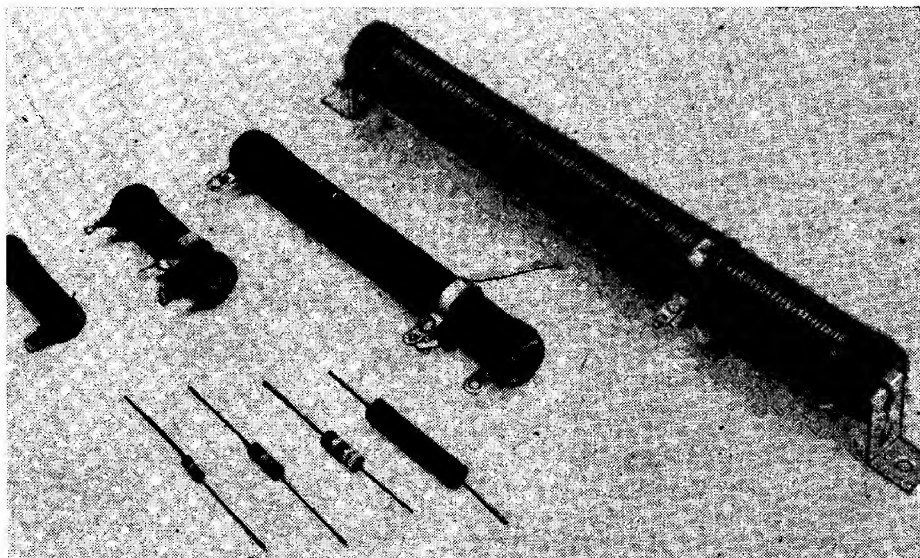
R' = otpor za izmjeničnu struju frekvencije f .

U radio-tehnici se povećanje otpora uslijed skin-efekta smanjuje upotrebom vodiča specijalnih oblika. Jedan od tih je vodič od nekoliko upredenih, međusobno izoliranih žica, tzv. »visokofrekventna pletenica«. Površini vodiča se vodljivost poboljšava tako da se posrebri, a kako je sredina vodiča neiskorištena, mogu se upotrebiti cijevi. Umjesto nepogodnog kružnog presjeka koriste se plosnati vodovi. Sva ova poboljšanja vodljivosti koriste se tek na frekvencijama od nekoliko desetaka megaherca na više.

OSNOVNI RADIO-TEHNIČKI ELEMENTI

Otpornik

Otpornik je radio-tehnički element koji ima poznat električni otpor. Njegov otpor redovito je ozna-



Sl. 2-9. Nekoliko vrsta otpornika. Veći otpornici su žičani. Predviđeni su za veća opterećenja (5 do 100 W). Četiri manja su »neinduktivni« otpornici za opterećenja između 0,5 i 3 W

čen u omima, kiloomima ili mega-omima. Nekoliko vrsta otpornika se vidi na sl. 2-9.

Otpornici se izrađuju kao žičani, slojni ili puni (masivni).

Žičani otpornik načinjen je namatanjem otporne žice na nosač od izolatora. Krajevi žice su stegnuti obujmicama na kojima su i priključci za spajanje otpornika u strujni krug. Žica je obično zaštićena premazom zaštitnog laka. Ovako izveden otpornik djeluje kao zavojnica, pa ima i svoj induktivitet. Kod nekih žičanih otpornika namotane su dvije žice, jedna u jednom a druga u drugom smjeru. Takav otpornik je neinduktivan.

Slojni otpornici načinjeni su namoštanjem otpornog sloja na nosač od izolatora. Da se poveća efektivna dužina urezane su spiralne brazde u otporni sloj. Na krajevima su priključci.

Puni otpornici su cijeli izliveni od otpornog materijala, najčešće u

obliku valjka. Na krajevima imaju utaljene priključke.

Ima stalnih i promjenljivih otpornika. Stalnim naziva se otpornik kojemu se ne može mijenjati otpor. Promjenljivom otporniku može se mijenjati otpor, obično pomicanjem kliznog kontakta. U ovoj se grupi razlikuju otpornici koji su načinjeni tako da im se otpor može često mijenjati, od onih kojima se otpor samo namjesti na potreban iznos i tako ostavi. Prvi se zovu »potenciometri«, a drugi »trimerski otpornici«.

Važna karakteristika svih otpornika je i njihova *opteretivost*. Ona se redovito izražava u vatima električne snage koju neki otpornik još može izdržati bez prevelikog zagrijavanja. U radio-tehničkoj praksi susreću se otpornici kojima opteretivost iznosi, npr. 1/4, 1/2, 1, 2 ili više, sve do nekoliko stotina vata.

Više otpornika može se spajati u kombinacije, serijski ili paralelno. Ukupni otpor kombinacije serijski spojenih otpornika (sl. 2-10a)

jednak je zbroju otpora pojedinih otpornika:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

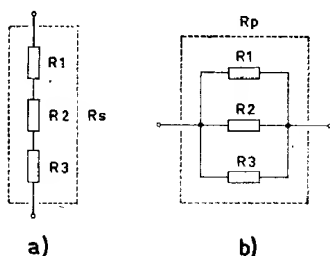
On je uvijek veći od najvećeg u kombinaciji. Napon se raspoređuje po svim otpornicima, proporcionalno njihovim otporima.

Ukupni otpor kombinacije paralelno spojenih otpornika (sl. 2-10b) jednak je recipročnoj vrijednosti zbroja recipročnih vrijednosti pojedinih otpornika:

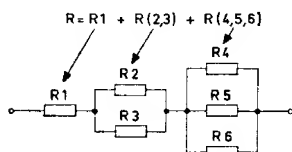
$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

Kod paralelnog spajanja napon je na svim otpornicima isti. Ukupan otpor je uvijek manji od najmanjeg u kombinaciji.

Ako je više otpornika mješovito spojeno, treba za izračunavanje ukupnog otpora spoj razlučiti na serijske i na paralelne kombinacije i tako postupno izračunati ukupni otpor.



Sl. 2-10. a) Serijski i b) paralelno spojeni otpornici



Sl. 2-11. Primjer mješovito spojenih otpornika

Tako je, za primjer na sl. 2-11, ukupni otpor:

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_{4,5,6}$$

gdje su: $R_{2,3}$, odnosno $R_{4,5,6}$, otpori paralelnih kombinacija odgovarajućih otpora:

$$R_{2,3} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_{4,5,6} = \frac{1}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}}$$

Kod izračunavanja treba sve vrijednosti otpora uvrstiti u istim jedinicama, omima, kiloomima ili megaomima. Rezultirajući otpor će također biti izražen tim jedinicama.

Naponski ovisni otpornici ili varistori (ponekad označivani VDR, prema engl. *Voltage Dependent Resistor*) jesu posebna vrsta otpornika kojima je otpor ovisan o priključenom naponu, prema relaciji:

$$R = k \cdot U^{-\gamma}$$

gdje su k koeficijent proporcionalnosti a γ faktor koji iznosi oko 3 do 5.

Temperaturno ovisni otpornici ili termistori jesu posebna vrsta otpornika kojima je otpor izrazito ovisan o temperaturi. Otpornici kojima otpor raste s porastom temperature zovu se *otpornici s pozitivnim temperaturnim koeficijentom* ili PTC-otpornici (prema engl. *Positive Temperature Coefficient*), a otpornici kojima otpor opada porastom temperature zovu se *otpornici s negativnim temperaturnim koeficijentom* ili NTC-otpornici.

Otpor im se mijenja s temperaturom po eksponencijalnom zakonu:

$$R = ae^{b/T}$$

gdje su: a i b karakteristični parametri termistora, a T apsolutna temperatura.

Foto-otpornici su posebna vrsta otpornika kojima se otpor, odnos-

no vodljivost, mijenja pod utjecajem svjetlosti. Osnovna im je karakteristika tzv. osjetljivost S , definirana kao omjer promjene vodljivosti G i promjene svjetlosnog toka Φ :

$$S = \frac{\Delta G}{\Delta \Phi} = \frac{1}{U} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta \Phi},$$

a jedinica joj je amper po lumenu i po voltu $\left(\frac{\text{A}}{\text{lm V}}\right)$. Često se navodi samo parcijalna osjetljivost S_I uz napon 1 V, koja se tada izražava u jedinici: amper po lumenu $\left(\frac{\text{A}}{\text{lm}}\right)$.

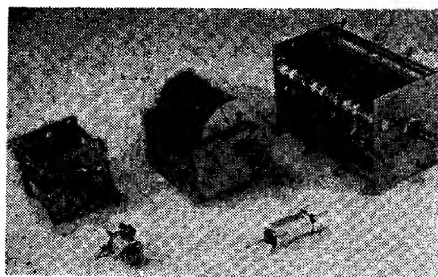
Ovisnost promjene otpora s promjenom rasvjetle je obično linearna. Foto-otpornici su vrlo tromi elementi (promjena struje kasni oko 0,1 ms i više) pa mogu slijediti frekvencije signala do najviše 10 kHz.

Kondenzator

Kondenzator je radio-tehnički element koji ima poznat električni kapacitet. Kapacitet kondenzatora redovito je označen u mikrofaradima (μF), nanofaradima (nF) ili pikofaradima (pF).

U svakom kondenzatoru postoje dva vodiča koji mogu imati oblik metalnih traka, ploča ili slogova ploča. Jedan je vodič od drugoga izoliran nekim pogodnim izolatorom: impregniranim papirom, lakom, plastičnim materijalom, keramikom, slojem uzduha (zraka, vazduha) ili nekim drugim specijalnim izolatorom. Kapacitet kondenzatora ovisan je o površini jednog i drugog vodiča, o njihovom međusobnom razmaku i o vrsti izolatora među njima.

Uz vrijednost kapaciteta potrebno je znati i visinu napona na koji se kondenzator smije nabiti da ne dođe do proboja izolacionog sloja. Treba razlikovati *ispitni* napon, *maksimalni* i *radni* napon. Ispitni je onaj napon kojim se određena



Sl. 2-12. Promjenljivi jednostruki, dvostruki i trostruki kondenzator. Pokraj njih se vide i dva polupromjenljiva »trimerska« kondenzatora »lončastog« tipa

vrsta kondenzatora ispituje u tvornici. U radu se ni povremeno ne smije preći vrijednost maksimalnog napona, dok se za trajnu upotrebu preporučuje ostati najviše kod vrijednosti radnog napona.

Postoje stalni i promjenljivi kondenzatori. Stalni, tzv. »blok« ili »fiksni« kondenzatori imaju stalan kapacitet. Promjenljivom kondenzatoru može se mijenjati kapacitet, najčešće zakretanjem pomičnih ploča. Postoje kondenzatori načinjeni tako, da im se kapacitet često može mijenjati ili tako da im se kapacitet može namjestiti na potrebnu vrijednost i tako ostaviti. Ovi posljednji nazivaju se »trimer« kondenzatori. Na sl. 2-12 vidi se nekoliko vrsta promjenljivih kondenzatora.

Više kondenzatora može se spajati u kombinaciju, serijski ili paralelno. Primjer serijski spojenih kondenzatora je na sl. 2-13a. Ukupan kapacitet serijski spojenih kondenzatora jednak je recipročnoj vrijednosti zbroja recipročnih vrijednosti kapaciteta pojedinih kondenzatora:

$$C_s = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

Ukupan napon na serijskoj kombinaciji raspoređuje se po svim

kondenzatorima i to indirektno proporcionalno s kapacitetom. To znači da je na kondenzatoru najmanjeg kapaciteta najviši napon! Zbroj napona na pojedinim kondenzatorima jednak je ukupnom naponu na seriji:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

Zajednički kapacitet paralelno spojenih kondenzatora (sl. 2-13b) jednak je zbroju kapaciteta pojedinih kondenzatora:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

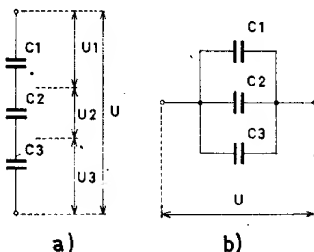
Napon je na svim kondenzatorima isti:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

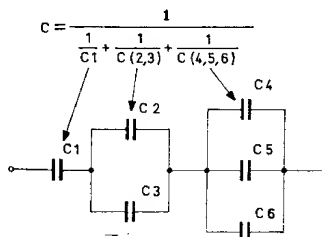
Kondenzatori se mogu spajati i mješovito. Jedan primjer mješovitog spajanja je na sl. 2-14. Za izračunavanje ukupnog kapaciteta treba spoj razlučiti na jednostavne serijske i paralelne kombinacije. Na slici je dana i relacija za konkretan slučaj za izračunavanje, s time da je:

$$C_{2,3} = C_2 + C_3$$

$$C_{4,5,6} = C_4 + C_5 + C_6$$



Sl. 2-13. a) Serijsko i b) paralelno spajanje kondenzatora



Sl. 2-14. Primjer mješovito spojenih kondenzatora

Kod izračunavanja treba sve kapacitete utvrđivati u istim jedinicama, npr. u nF ili pF.

Posebna vrsta kondenzatora su elektrolitski kondenzatori. Elektrode toga kondenzatora su aluminijske trake, odijeljene slojem koji je natopljen posebnim elektrolitom. Kemijskom reakcijom na aluminiju nastaje sloj oksida koji je izolator. Ovaj oksidni sloj je vrlo tanak, ali i pored toga ima veliku probojnu čvrstoću pa može izdržati napone do približno 500 V. Radi toga što je izolator vrlo tanak, ovi kondenzatori mogu imati velik kapacitet, čak do nekoliko tisuća μF .

Elektrode su im polarizirane. Na kondenzatoru je označeno koja je elektroda pozitivna a koja negativna. Zamjenom priključaka kondenzator se može uništiti. Samo vrlo rijetki i relativno skupi elektrolitski kondenzatori su bipolarni.

Kapacitet kondenzatora, njegov radni napon i druge karakteristike označene su na samom kondenzatoru na razne načine.

Zavojnica

Zavojnica je radio-tehnički element koji ima određeni induktivitet (induktivnost). Induktivitet se izražava u henrijima (H), milihenrijima (mH) ili mikrohenrijima (μH).

Zavojnica se redovito sastoji od žice koja je namotana u jednom ili u više slojeva, jednostavno ili unakrsno. Nosač ili tijelo zavojnice izrađuje se od impregniranog papira, drveta, sintetičnog ili sličnog materijala. Najčešće ima oblik šupljeg valjka.

Vodič od kojega je načinjena zavojnica najčešće je bakrena žica, izolirana lakom, rjeđe pamukom ili svilom. Kod zavojnica, predviđenih za vrlo visoke frekvencije upotrebljava se posrebrana bakrena žica ili cijev.

Samo specijalne zavojnice za ultrakratke valove su bez tijela. Vođić tada mora biti mehanički dovoljno krut da zadrži svoj oblik.

Na sl. 2-15 pokazano je nekoliko izvedbi zavojnica.

Za razliku od otpornika i kondenzatora koje kupuju u trgovini, amateri i tehničari zavojnice izrađuju ponajviše sami, za svaki konkretni slučaj. Samo manji dio zavojnica koje su u praksi potrebne mogu se naći gotove na tržištu. Radi toga radio-amateri i tehničari moraju znati proračunati i po proračunu namotati zavojnicu.

U titrajnim krugovima najčešće se upotrebljavaju valjčaste jedno slojne zavojnice. Presjek kroz takvu zavojnicu s najvažnijim parametrima vidi se na sl. 2-16. To su: srednji promjer zavojnice D , duži

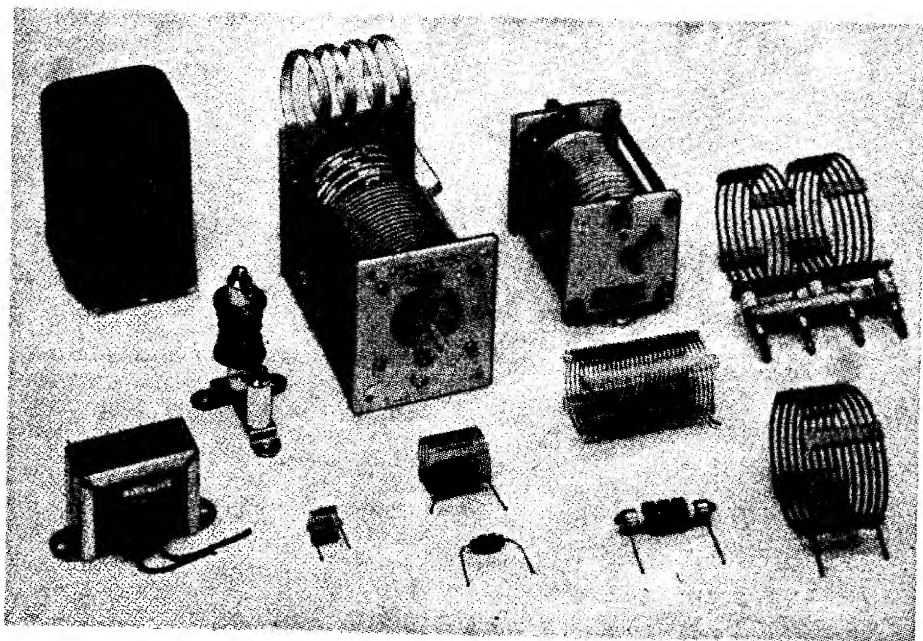
na zavojnice l , debljina žice d , broj zavoja N i korak zavoja a . Svi ti parametri utječu na veličinu induktiviteta L . O proračunu zavojnice vidi u poglavlju: »Amaterska radionica«.

Zavojnice se uglavnom dijele na one namijenjene za niskofrekventne i one namijenjene za visokofrekventne strujne krugove. S obzirom na izvedbu dijele se na zavojnice s jezgrom, te bez jezgre.

Kao jezgra za NF zavojnice upotrebljavaju se paketi međusobno izoliranih transformatorskih limova.

Za VF zavojnice upotrebljavaju se posebne VF jezgre. Postoji cijeli niz materijala od kojih se izrađuju VF jezgre. Dobivaju se sintetički, a nose nazive »siferit«, »elvefer«, »ferokskebe« i slične.

Zavojnice se također mogu spajati u kombinacije, s time da veza



Sl. 2-15. Nekoliko vrsta zavojnica za niske i visoke frekvencije. Sasvim lijevo su dvije filterske prigušnice za ispravljače, do njih dvije VF prigušnice kakve se upotrebljavaju u predajnicima i prijemnicima, ostalo su različite zavojnice za kratkovalne titrajne krugove

između njih može biti pomoću vodiča, ali i induktivna. Konačni induktivitet kombinacije ovisan je o induktivitetu pojedinih zavojnica i o njihovoj međusobnoj vezi. Proračunati se mogu samo sasvim jednostavni slučajevi, kada zavojnice ne djeluju jedna na drugu, bilo da su dovoljno daleko, bilo da su oklopljene metalnim oklopom. Za slučaj serijskog spoja odvojenih zavojnica (sl. 2-17a) konačan induktivitet

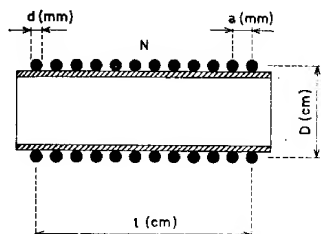
kombinacije jednak je zbroju induktiviteta pojedinih zavojnica:

$$L_s = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

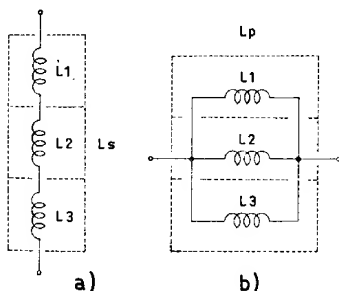
Uz iste uvjete, konačno, induktivitet kombinacije paralelno spojenih zavojnica jednaka je recipročnoj vrijednosti zbroja recipročnih vrijednosti induktiviteta pojedinih zavojnica (sl. 2-17b):

$$L_p = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

Za složenije slučajeve u praksi je najjednostavnije izmjeriti zajedničku vrijednost induktiviteta kombinacije zavojnica.



Sl. 2-16. Presjek jednoslojne zavojnice, namotane na valjčastom tijelu. D = promjer valjka; d = promjer (debljina) žice; a = »korak« zavoja, tj. razmak između susjednih zavoja. Zavojnica ima ukupno N zavoja, raspoređenih na dužinu l . To su osnovni geometrijski parametri o kojima ovisi induktivitet (induktivnost) zavojnice L



Sl. 2-17. a) Serijski i b) paralelno spojene zavojnice. Rezultirajući induktivitet može se jednostavno izračunati samo onda, ako zavojnice nisu i induktivno vezane. Zavojnice su jedna od druge odijeljene oklopima

Transformator

Transformatori služe za različite transformacije, tj. za pretvaranje izmjeničnih napona, izmjeničnih struja ili impedancija.

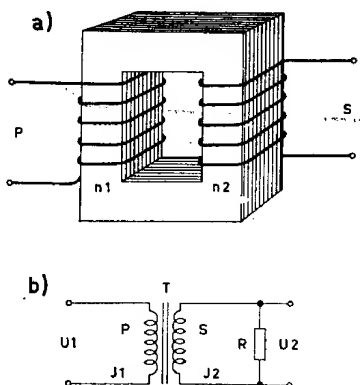
Tipični transformator ima dvije zavojnice na zajedničkoj željeznoj jezgri (sl. 2-18a). Samo u posebnim slučajevima, kod transformatora za vrlo visoke frekvencije, može svaka zavojnica imati svoju jezgru ili može čak biti i bez jezgre.

Veza između jedne i druge zavojnice ostvarena je preko magnetskog polja tako da je ono određeno dijelom zajedničko obim zavojnicama. Izmjenična struja koja teče kroz primarnu zavojnicu stvara izmjenično magnetsko polje pa se u sekundarnoj zavojnici inducira izmjenična struja jednake frekvencije. Sekundarnu izmjeničnu struju I_2 koristimo u potrošaču R . Napon na njemu je U_2 (sl. 2-18b).

Na takvom transformatoru vrijedi jednostavan odnos između napona na primarnoj i na sekundarnoj strani:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

gdje je n_1 broj zavoja primarne, a n_2 broj zavoja sekundarne zavojnice.



Sl. 2-18. Tipičan primjer transformatora za niže frekvencije. P = primarna zavojnica; S = sekundarna zavojnica; n_1 = broj primarnih zavoja; n_2 = broj sekundarnih zavoja; T = transformatorska jezgra, sastavljena od tankih, međusobno izoliranih željeznih limova; U_1 = primarni izmjenični napon; U_2 = sekundarni izmjenični napon; J_1 = primarna jakost struje; J_2 = sekundarna jakost struje; R = potrošač koji ima omski otpor, npr. električna grijalica

Transformiranjem se ne može dobiti veća energija od uložene. Zbog gubitka je sekundarna snaga redovito manja od primarne. U radio-tehničkoj praksi gubici iznose 10 do 20%. Kod najvećih transformatora elektro-tehnike oni mogu biti samo oko 1%. Kod idealnog transformatora bi primarna snaga P_1 i sekundarna snaga P_2 bile jednake:

$$P_1 = P_2, \text{ ili } U_1 \cdot J_1 = U_2 \cdot J_2$$

Oдавде slijedi:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{U_2}{U_1} \quad \text{ i } \quad \frac{J_1}{J_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Jakosti struja odnose se obrnuto nego naponi i obrnuto nego brojevi zavoja.

Svaka zavojnica ima u određenim uvjetima određenu impedanciju.

ju. Impedancije se odnose kao kvadrati broja zavoja:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

Zato transformator služi i za promjenu impedancije.

U radio-tehnici se upotrebljava više vrsta transformatora. To su:

— mrežni transformatori za priključak na izmjeničnu električnu mrežu. Primarna strana im je predviđena za efektivni napon od 220 V, rjeđe za 110 V. Na sekundarnoj strani oni daju napone koji su potrebni u različitim uređajima,

— ulazni transformator koji se stavlja na ulaz pojačala ili modulatora. Služi za prilagođenje impedancije elektroakustičnih elemenata (mikrofona, gramofonskih zvučnica i sl.) na ulaznu impedanciju pojačala.

— izlazni transformator za prilagođenje elektroakustičnih elemenata (zvučnika, slušalice) ili izlaznog stupnja predajnika na izlaznu impedanciju pojačala ili modulatora,

— međufrekventni transformatori za vezu među stupnjevima MF pojačala i selekciju signala,

— antenski transformator koji prilagođuje impedanciju antenskog voda na ulaz prijemnika ili na izlaz predajnika.

Kod autotransformatora postoji samo jedna zavojnica sa odvojcima.

O proračunu nekih transformatora vidi poglavlje: »Amaterska radionica«.

JEDNOSTAVNI SKLOPOVI

Sklop RC i sklop RL. Vremenska konstanta

Sklop koji se sastoji od otpornika i kondenzatora zove se *RC*-sklop. Otpornik i zavojnica čine *RL*-sklop. Ove obje vrste sklopova se u radio-tehničkoj praksi često upotrebljavaju jer imaju vrlo interesantna

svojstva koja se očituju određenom električnom tromešću, nazvanom »vremenska konstanta«.

Svojstva RC-sklopa upoznat će mo pomoću sl. 2-19.

Za punjenje kondenzatora kapaciteta C elektricitetom iz izvora struje elektromotorne sile E preko otpornika R treba neko vrijeme. Kondenzator se puni postupno i to po eksponencijalnom zakonu. RC-sklop priključen na izvor struje i grafički prikaz porasta napona na kondenzatoru, u ovisnosti o vremenu, prikazani su lijevo. U početku napon na kondenzatoru naglo raste. Kasnije se porast napona usporava i do maksimalnog napona kondenzator bi se napunio kroz relativno dugo vrijeme.

Kondenzator se u vremenu T , za koje vrijedi jednostavna relacija:

$$T = R \cdot C$$

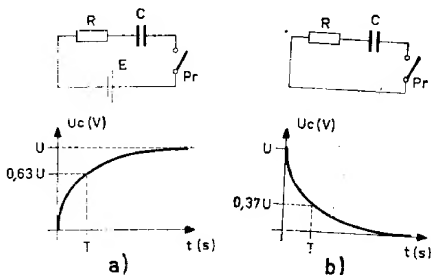
napuni toliko da napon na njemu iznosi 63% maksimalno mogućeg napona ($U = E$).

Ovo se vrijeme naziva *vremenska konstanta RC-sklopa*. Njena vrijednost izlazi u sekundama, uz uvjet da otpor izrazimo u omima i kapacitet u faradima.

Kondenzator se preko otpornika prazni također eksponencijalno, isprva naglo, a poslije sve sporije. Za vrijeme $T = R \cdot C$ napon na kondenzatoru padne na 37% vrijednosti na koju je bio nabijen (sl. 2-19, desno).

Vremenska konstantna je vrlo važna karakteristika RC-sklopa. Ona je to veća što je veći kapacitet C i što je veći otpor R .

Pri prolazu struje kroz RL-sklop jakost struje postupno raste radi pojave samoindukcije u zavojnici. Struja raste po eksponencijalnom zakonu, slično porastu napona na kondenzatoru (sl. 2-19a). Vrijeme, kroz koje jakost struje dostigne 63% maksimalne vrijednosti, naziva se vremenska konstanta RL-sklopa. Ona je u jednostavnoj vezi



Sl. 2-19. a) Punjenje ili nabijanje i b) pražnjenje ili izbijanje kondenzatora preko otpornika

s otporom R i s koeficijentom samoindukcije zavojnice L :

$$T = \frac{L}{R}$$

Vremenska konstanta dobije se u sekundama, ako se L uvrsti u henrijima, a R u omima.

Titrajni krug

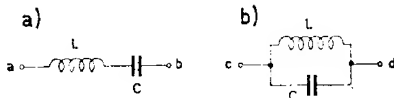
Sklop zavojnice i kondenzatora naziva se titrajni krug zato što u njemu mogu nastati električni titraji.

Induktivni i kapacitivni otpor imaju, kako znamo, suprotna djelovanja na izmjeničnu struju. Radi induktivnog otpora struja kasni za naponom, a radi kapacitivnog otpora napon kasni za strujom. U serijskom spoju zavojnice i kondenzatora, (sl. 2-20a), mogu se ova djelovanja upravo poništiti. To se događa kod one frekvencije izmjenične struje, za koju su oba otpora po iznosu jednaka:

$$R_L = R_C$$

odnosno:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$



Sl. 2-20. Titrajni krugovi: a) serijski; b) paralelni titrajni krug

Ako se uvrsti vrijednost $\omega = 2\pi f_0$, može se izračunati frekvencija:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Te je poznata Thomson-ova (Tomson) relacija. Kod ove frekvencije iščezava prividni otpor (reaktancija) serijskog spoja zavojnice i kondenzatora. To je slučaj *resonancije*, koja je jedan od osnovnih principa radio-tehnike. Frekvencija f_0 se naziva *resonantna frekvencija* titrajnog kruga.

Resonantna frekvencija titrajnog kruga dobije se iz Thomson-ove relacije u hercima (Hz), ako se L uvrsti u henrijima (H), a C u faradima (F). U praktičnoj radio-tehnici se upotrebljavaju izvedene jedinice, pa im se ova relacija može prilagoditi.

Frekvencija će se dobiti u kilohercima (kHz), ako se L uvrsti u milihenrijima (mH) i C u pikofaradima (pF) u relaciju:

$$f_0 = \frac{5030}{\sqrt{LC}}$$

ili u megahercima (MHz), ako se L uvrsti u mikrohenrijima (μ H) a C u pikofaradima (pF) u relaciju:

$$f_0 = \frac{159,5}{\sqrt{LC}}$$

Serijski titrajni krug *propušta* izmjeničnu struju resonantne frekvencije, dok pruža otpor strujama svih drugih frekvencija. Taj je otpor to veći što se one više razlikuju od resonantne frekvencije.

Zavojnica i kondenzator mogu se spojiti i paralelno, pa se dobije paralelni titrajni krug. Njegova resonantna frekvencija također je određena Thomson-ovom relacijom. On pruža *najveći* otpor za resonantnu frekvenciju, a manji otpor za sve druge, tim manji što se one više razlikuju od resonantne frekvencije.

Titrajni krugovi služe za *selekciju* (odabiranje) određene frekvencije koja je pomiješana s mnogim drugim frekvencijama.

Resonantna frekvencija je prema Thomson-ovoj relaciji određena umnoškom L i C . Međutim, jakost struje u titrajnom krugu ovisna je o količini elektriciteta na kondenzatoru, pa je važna karakteristika titrajnog kruga i *odnos* $L:C$. U dva titrajna kruga s jednakim resonantnim frekvencijama i jednakim naponima na kondenzatoru jača struja će teći u onome koji ima kondenzator većeg kapaciteta, kod kojega je odnos $L:C$ manji! Kvadratni korijen iz toga odnosa ima dimenziju otpora i naziva se *karakteristična* (ili *valna*) *impedancija* titrajnog kruga:

$$Z_k = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Karakteristična impedancija, u slučaju resonancije, jednaka je pojedinom prividnom otporu titrajnog kruga, induktivnom ili kapacitivnom:

$$Z_k = \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Realni titrajni krug

Titrajni krug načinjen je od realnih elemenata, od zavojnice koja osim induktivnog otpora ima i neki omski otpor žice od koje je načinjena, te od kondenzatora koji ima gubitke. Omski otpori zavojnica su maleni, od nekoliko do nekoliko desetaka oma, dok su otpori gubitaka za dobre kondenzatore veliki, reda gigaoama. Na kvalitet titrajnog kruga uglavnom utječe otpor zavojnice i otpor vodova u titrajnom krugu.

Kod serijskog titrajnog kruga, u slučaju resonancije prividni otpori se poništavaju, pa je impedancija:

$$Z_{res} = R$$

tj. jednaka je omskom otporu titrajnog kruga. Što je taj otpor manji, to će jakost struje biti veća.

Kod paralelnog titrajnog kruga, u slučaju resonancije impedancija je:

$$Z_{res} = \frac{L}{CR} = \frac{Z_k^2}{R}$$

gdje je Z_k karakteristična impedancija, a R omski otpor titrajnog kruga.

Za slučaj, »idealiziranog« titrajnog kruga $R=0$, pa je i $Z_{res}=0$ za serijski, odnosno $Z_{res}=\infty$ za paralelni titrajni krug.

Upotrebljivost nekog radio-tehničkog elementa kod neke frekvencije karakteriziran je odnosom njegovog prividnog i realnog otpora:

$$Q = \frac{X}{R}$$

Ovaj omjer se naziva *faktor dobrote*, kadkada samo »dobrota« ili u praksi »*Q faktor*« elementa. Što je on veći, element je za danu frekvenciju kvalitetniji.

Za zavojnicu je *Q-faktor*:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

Za zavojnice koje se upotrebljavaju u radio-tehničkoj praksi *Q-faktor* ima vrijednost od nekoliko desetaka do nekoliko stotina.

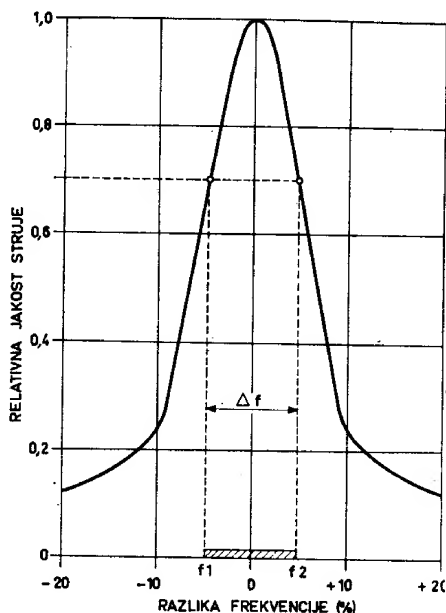
Dobrota titrajnog kruga ovisi uglavnom o dobroti zavojnice, a računa se iz relacije:

$$Q = \frac{Z_k}{R}$$

Umjesto faktora dobrote nekada se kao mjera za kvalitet titrajnog kruga navodi *prigušenje*, koje je jednako recipročnoj vrijednosti faktora dobrote: $d = 1/Q$.

Karakteristike titrajnih krugova

Pri toku struja različitih frekvencija kroz serijski titrajni krug najjača će biti struja resonantne frekvencije f_0 , dok će jakost ostalih struja opadati s udaljavanjem od resonantne frekvencije. Ovisnost relativne jakosti struje o frekvenciji prikazana je na sl. 2-21. To je tipična karakteristika serijskog titrajnog kruga, tzv. *krivulja resonancije*. Iz nje se vidi da titrajni krug ne propušta samo struju resonantne frekvencije, ne-

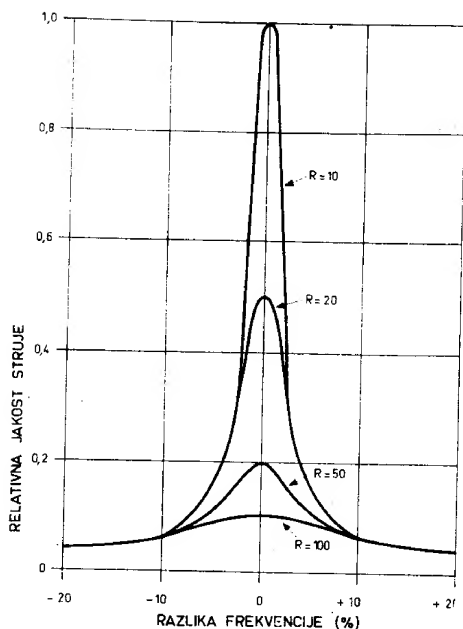


Sl. 2-21. Ovisnost jakosti struje o frekvenciji kod serijskog titrajnog kruga prikazana je tzv. *krivuljom resonancije*. Širina propuštenog područja Δf jednaka je razlici frekvencija f_1 i f_2 , vidi tekst

go struje iz nekog područja frekvencija Δf . Ako se jakost struje resonantne frekvencije označi jedinicom, ovo *propusno područje* seže od frekvencije f_1 do frekvencije f_2 za koje jakost struje iznosi 70% (tačnije 0,707). Razlika frekvencija f_1-f_2 jednaka je Δf .

Širinom propusnog područja titrajnog kruga određena je mogućnost odjeljivanja (selekcije) struja različitih frekvencija, tzv. *selektivnost*. Ona je za praktičnu radio-tehniku vrlo važna, jer se titrajni krugovi upravo upotrebljavaju za odabiranje određene frekvencije tzv. signala.

Selektivnost titrajnog kruga ovisna je o realnom, omskom otporu titrajnog kruga. Krivulje resonancije za nekoliko titrajnih krugova s različitim realnim otporima

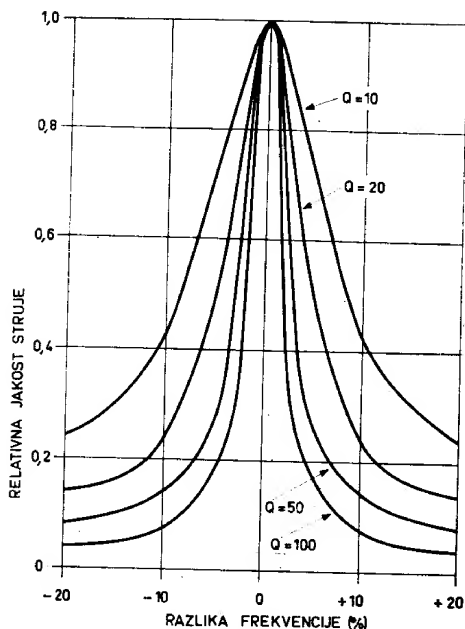


Sl. 2-22. Izgled krivulja resonancije zavisi o otporu R , uključenom u serijski titrajni krug. Vrijednost otpora R sadrži omski otpor, kao i otpore gubitaka u zavojnici i kondenzatoru

R nacrtane su na sl. 2-22. Što je taj otpor manji jakost struje je veća. Krivulja resonancije je istovremeno šiljastija. Širina propusnog područja je manja, a to znači da je selektivnost bolja.

Veći realni otpor titrajnog kruga umanjuje Q -faktor, slabi »dobrotu«. Pri istim jakostima struje kod resonantne frekvencije, uz manji Q -faktor, dobiju se šire krivulje resonancije, sl. 2-23. Što je Q -faktor veći, resonancija je »oštrija«. Propusno područje je uže, a titrajni krug je selektivniji.

Kod paralelnog titrajnog kruga je otpor za resonantnu frekvenciju najveći. Prema tome je struja kod resonancije najslabija, dok je napon najveći. Ovisnost relativne impedancije paralelnog titrajnog kruga o razlici frekvencije pokazana je



Sl. 2-23. Serijski titrajni krugovi koji resoniraju na istu frekvenciju imaju različite krivulje resonancije, ovisno o veličini Q -faktora

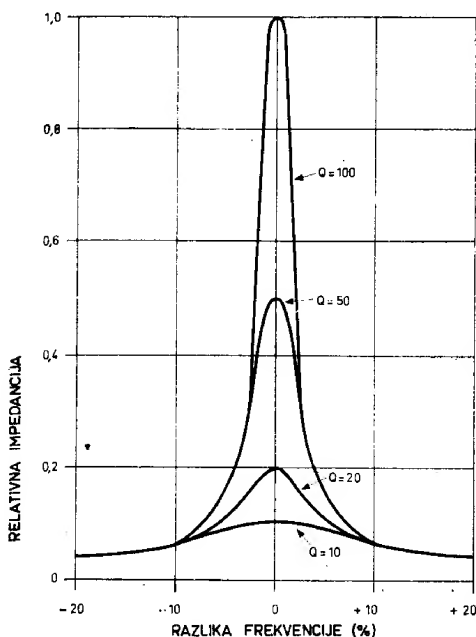
grafički na sl. 2-24. Resonancija je i kod paralelnog titrajnog kruga to oštrija što je Q -faktor veći.

Veze između titrajnih krugova

U radio-tehničkim uređajima titrajni krugovi se spajaju s različitim strujnim krugovima, a često se vežu i jedan s drugim. Direktna, galvanjska veza je moguća, ali češće se primjenjuju induktivne, kapacitivne ili mješovite veze.

Induktivna veza titrajnog kruga s nekim strujnim krugom pomoću zavojnice za vezu prikazana je na sl. 2-25a. Zavojnica za vezu L nalazi se pokraj zavojnice titrajnog kruga.

Veza između dva titrajna kruga može biti induktivna, prema sl. 2-25b. Na sl. 2-25c veza je postignuta



Sl. 2-24. Ovisnost impedancije o frekvenciji kod nekoliko paralelnih titrajnih krugova s različitim Q-faktorima, uz istu resonantnu frekvenciju

preko zajedničke zavojnice za vezu L_v .

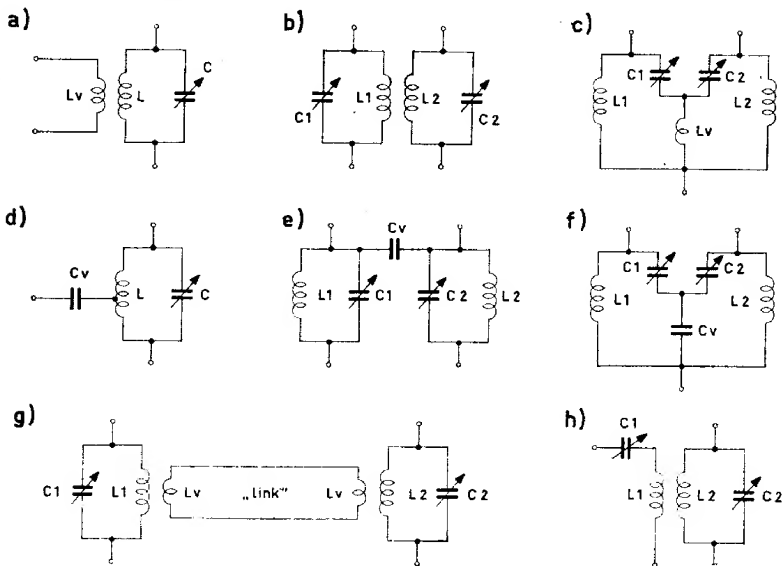
Sl. 2-25d pokazuje jednostavnu kapacitivnu vezu ostvarenu kondenzatorom C_v . Dva titrajna kruga mogu, prema sl. 2-25e, također biti u međusobnoj kapacitivnoj vezi. U primjeru sl. 2-25f za vezu služi kondenzator C_v koji je istovremeno uključen u oba titrajna kruga.

Dva udaljena titrajna kruga mogu biti u međusobnoj vezi posredno, putem tzv. »linka« s dvije zavojnice za vezu L_v . Jedna je uz zavojnicu prvog, a druga uz zavojnicu drugog titrajnog kruga.

Na sl. 2-25h prikazana je induktivna veza između serijskog i paralelnog titrajnog kruga.

Stupanj veze između dva titrajna kruga ovisi o međuindukciji za dvije induktivno vezane zavojnice, odnosno o kapacitetu kondenzatora C_v kod kapacitivne veze. Taj se stupanj veze izražava koeficijentom

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$



Sl. 2-25. Nekoliko osnovnih načina induktivnog i kapacitivnog vezivanja titrajnih krugova. Vidi tekst

a za kapacitivnu vezu:

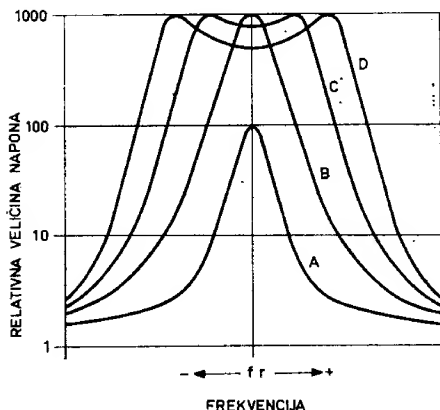
$$k = \frac{C_v}{\sqrt{C_1 C_2}}$$

gde je M koeficijent međuinukcije, C_v kapacitet kondenzatora za vezu, dok su L_1 , L_2 , C_1 i C_2 induktiviteti odnosno kapaciteti titrajnih krugova.

Kod vezanja dvaju titrajnih krugova dolazi do obostranog utjecaja jednoga na drugi, bez obzira o kojoj se vrsti veze radi. Veza utječe i na oblik krivulje resonancije, kako se vidi na sl. 2-26. Izgled krivulje ovisi o koeficijentu veze k i o Q -faktoru titrajnih krugova. Umnožak kQ može biti manji od jedinice, jednak jedinici i veći od jedinice.

Ako je $kQ < 1$, kaže se da je veza manja od kritične. Za takav slučaj vrijedi krivulja A. Na resonantnoj frekvenciji f_0 još nije postignut maksimalno mogući napon, ali je zato propusno područje usko.

Za slučaj kada je $kQ = 1$ veza je kritična, a krivulja resonancije je B. Napon je maksimalan, širina



Sl. 2-26. Resonancija dvaju jednakih, međusobno vezanih titrajnih krugova: A = uz potkritičnu vezu; B = uz kritičnu vezu; C i D = uz natkritičnu vezu. Ovakvo se može odabrati širina propusnog opsega frekvencija, što se koristi kod pojasnih filtera (»bandfiltera«)

propusnog područja je nešto veća, ali je resonancija još uvijek prilično oštra.

Kada je $kQ > 1$ veza je jača od kritične. U tom se slučaju pojavljuju dvije resonantne frekvencije, simetrično raspoređene prema osnovnoj resonantnoj frekvenciji pojedinog titrajnog kruga. Taj slučaj pokazuju krivulje C i D. Što je natkritična veza jača, nove resonantne frekvencije su udaljenije, a na osnovnoj resonantnoj frekvenciji napon postaje niži. Grafički se to prikazuje kao ulegnuće ili »sedlo«. Ono je sve dublje, što je veza jača. Širina propusnog područja postaje izrazito velika.

Za kritičnu vezu se širina propusnog područja može izračunati iz relacije:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} \sqrt{2}$$

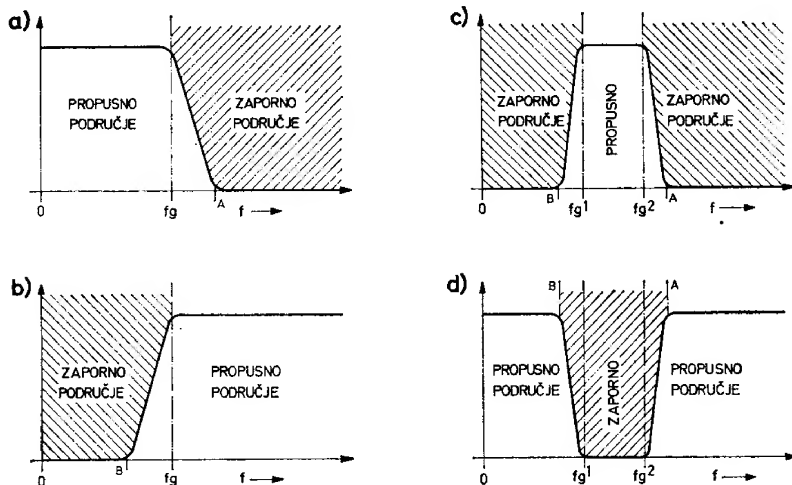
Za vezu koja je manja od kritične (»potkritična«) propusno područje je užo, za veću od kritične (»natkritičnu«) ono je šire od toga.

Odabiranjem stupnja veze može se u dosta širokim granicama odabrati i širina propusnog područja. Ona se može načiniti manjom nego što je širina propusnog područja pojedinog titrajnog kruga ili većom, prema potrebi.

Vezani titrajni krugovi upotrebljavaju se vrlo često u radio-uređajima, posebno u prijemnicima. Za ovo postoje dva glavna razloga. Prvo, širina propusnog područja može se odabirati u širokim granicama. Drugo, krivulja resonancije je strma, naročito kod natkritične veze, čime se približava idealnom filteru kojim se propuštene frekvencije oštro odjeljuju od onih koje ne treba propustiti.

Filteri

Filterima se u radio-tehnici nazivaju sklopovi, sastavljeni od za vojnika i kondenzatora, kojima je osnovno svojstvo da propuštaju iz-



Sl. 2-27. Različitim kombinacijama kondenzatora i zavojnica mogu se načiniti filteri raznolikih svojstava; a) propusno i zaporno (nepropusno) područje frekvencija kod »niskopropusnog«; b) kod »visokopropusnog« filtera. Pojasnih filtera (bandfiltera) ima dvije vrste: c) propusnih i d) zapornih (nepropusnih). Vidi i tekst

mjenične struje nekih odabranih frekvencija, dok one drugih frekvencija ne propuštaju. Za razliku od titrajnih krugova, koji svojom resonancijom također odabiru određene frekvencije, kod filtera je opseg propuštenih ili zadržanih frekvencija redovito znatno širi.

Prema njihovom učinku razlikujemo, uglavnom, četiri vrste filtera, sl. 2-27. Ako filter propušta frekvencije koje su niže od neke »granične« (f_g , sl. 2-27a), dok zadržava one koje su više, naziva se *niskopropusnim filterom* (engl. Low Pass Filter). Sve frekvencije koje su niže od f_g spadaju u *propusno područje* filtera.

Od granične frekvencije prema višima prigušenje postaje naglo sve jače, da iza A (na slici!) govorimo o maksimalno prigušenim frekvencijama. To se područje naziva *zapornim ili nepropusnim područjem* frekvencija (šrafirano).

Kod *visokopropusnih filtera* je obrnuto. Ovi filteri (engl. High Pass Filter) dobro propuštaju frekvencije iznad granične, sl. 2-27b. Zaporno

područje obuhvaća niske, a propusno područje visoke frekvencije. I ovdje je, u zapornom području (od B na više) prigušenje postepeno sve manje, sve do f_g .

Osim ove dvije vrste filtera postoje i takvi koji obuhvataju određeni, uži ili širi, opseg frekvencija. To su tzv. *pojasni filteri* ili *bandfilteri* (engl. Band Filter). Treba razlikovati dvije vrste bandfiltera: *propusne bandfiltere* (sl. 2-27c ili sl. 2-26) i *zaporne ili nepropusne bandfiltere* (sl. 2-27d). Kod ovih postoji donja (f_{g1}) i gornja granična frekvencija (f_{g2}).

Strmina krivulje između frekvencija f_g i A , kao i strmina između B i f_g , može biti veća ili manja. U prvom slučaju kažemo da je filter »strmiji« a djelovanje filtera »oštrije« nego li u drugome.

Deblje izvučena linija, sl. 2-27, ovako »glatko« teče između propusnog i zapornog područja frekvencija kod filtera tipa »baterwort« (engl. Butterworth. Butter = maslac, butter; Worth = valjanost). Kažu da je

ta krivulja toliko glatka, kao da sklizi po namazanom (HI).

Strmiji su filteri tipa »čebišev« (Chebyshev). Prelazi iz propusnog područja u nepropusno su brži ali preostaje neka manja ili veća »valovitost« o kojoj treba misliti pri konstrukciji takvih filtera. Chebyshev (Čebišev) je bio ruski matematičar. Po njemu su nazvane funkcije koje su osnova za proračun filtera.

Svi filteri moraju imati još jedno važno svojstvo. Svojom prisutnošću oni *ne smiju poremetiti rad* električnih sklopova koje povezuju. Zato mora ulazna impedancija filtera odgovarati impedanciji prethodnog, a izlazna impedancija onoj slijedećeg stupnja u uređaju.

Ima i drugih vrsta filtera. ali najčešće se primjenjuju spomenuta dva tipa.

Izračunavanje filterskih elemenata (zavojnica i kondenzatora) bio bi spor i nezgodan posao, ali za tu svrhu su iskorištena *elektronska računala* (računari, kompjuteri). Pomoću unaprijed pripremljenih tablica, koje vrijede za određene »standardizirane« uvjete, lako je onda riješiti problem u konkretnim slučajevima. Potrebna je samo elementarna računica.

O primjeni takvih filtera bit će govora kasnije, u poglavljima o predajnicima i o primopredajnicima gdje se oni danas redovito koriste. *Tablice s podacima* za izračunavanje vrijednosti elemenata, za obje vrste filtera, nalaze se na str. 776 do 781.

KRISTALI

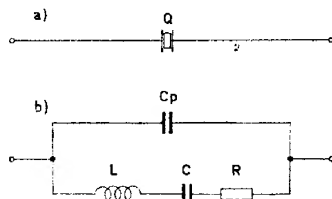
U radio-tehnici se kristalom naziva element kod kojeg se koristi piezoelektrični efekt. Takvi kristali se upotrebljavaju za proizvodnje i održavanje električnih titraja određene frekvencije, za izdvajanje određenih frekvencija (kristalni filter), kao i za prevođenje mehaničkih titraja u električne i obratno (kristalni mikrofon, zvučnik i kristalna zvučnica).

Piezoelektricitet primjećuje se kod kristala kvarca, turmalina, senjetove soli, bariumtitanata i nekih drugih. Na plohama takvih kristala, kada su izloženi mehaničkim deformacijama, pojavljuje se električni napon. Taj je napon proporcionalan deformaciji i vjerno ju slijedi. Postoji i obratna piezoelektrična pojava, da se kristal mehanički deformira kad mu se na plohe dovede električni napon. Ako je taj napon izmjeničan, kristal će titrati, osobito onda kad se podudaraju frekvencija izmjeničnog napona i mehanička frekvencija kristala. Frekvencija kristala je vrlo stabilna i zato se često upotrebljava u oscilatorima i mjernim uređajima.

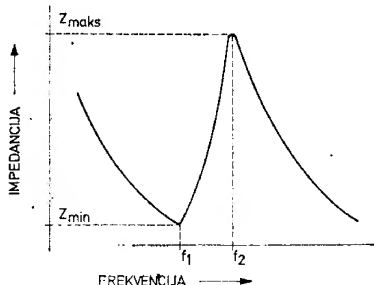
Najvažnije svojstvo koje se traži kod kristala je da on titra samo na određenoj frekvenciji. Kristalne pločice izrezuju se pod određenim kutem prema osima kristala i precizno bruse i tek tada učvršćuju među pločice koje služe kao elektrode i nosači. Kvarcove kristalne pločice proizvode su se samo od prirodnih kristala. Danas proizvođenje umjetnih kristala pruža daleko veće mogućnosti.

Karakteristike kristala

Kvarcov kristal u električnom strujnom krugu predstavlja određen paralelni kapacitet, jer elektro-



Sl. 2-28. a) Shematski prikaz i b) nadomjesna shema kvarcovog kristala. Q = kristal u svom držaču. Ponaša se kao serijski titrajni krug sa velikim induktivitetom L , malim kapacitetom C i malim otporom R . C_p je paralelni kapacitet



Sl. 2-29. Impedancija kvarcovog kristala ovisna je o frekvenciji. Pri serijskoj resonanciji (f_1) impedancija je najmanja (Z_{min}). Impedancija je najveća (Z_{maks}) pri paralelnoj resonanciji (f_2)

de čine kondenzator s kristalom kao izolatorom. Nadalje, kristal predstavlja neki otpor, kapacitet i induktivitet, spojene serijski. Simbol za kristal i njegova ekvivalentna električna shema su na sl. 2-28. Njegova frekvencijska karakteristika je na sl. 2-29.

Kristal ima dvije resonantne frekvencije, serijsku f_1 na kojoj mu je impedancija najmanja i paralelnu f_2 na kojoj mu je impedancija najveća. Te su resonantne frekvencije date relacijama:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_p \cdot C}{C_p + C}} \cdot L}$$

Kristal se reže, brusi i montira tako da su te dvije frekvencije vrlo blizu jedna drugoj.

Serijska resonancija kristala koristi se obično u kristalnim filterima, dok se serijska ili paralelna resonancija koriste u kristalnim oscilatorima.

U amaterskoj praksi upotrebljavaju se kristali u području od 100 kHz pa do nekih 200 MHz, a grubo se mogu razvrstati na niskofrekventne kristale (0,1 do 1 MHz), srednjefrekventne kristale (1 do 20 MHz) i visokofrekventne kristale (20 do 200 MHz).

Da bi kristal titrao mora se pobuditi nekom određenom snagom. Pobudna snaga navodi se u podacima za kristale. U prospektima se također može naći i podatak o paralelnom kapacitetu koji treba izvana dodati da se postigne određena frekvencija.

O kvarcovim oscilatorima vidi u poglavlju: 8. Visokofrekventni oscilatori.

ELEKTRONSKE I IONSKE CIJEVI

ELEKTRONSKE I IONSKE CIJEVI. VI. NJIHOVA ULOGA NEKAD I SADA

Na temelju ranijih Edisonovih opažanja kod električnih žarulja (sijalica) Fleming je (1904) konstruirao prvu elektronsku cijev s dvije elektrode, tzv. diodu. Malo kasnije (1907) konstruirana je i trioda (Lee de Forest u Americi; Lieben u Evropi).

Dioda je elektronska cijev koja ima dvije elektrode različitih temperatura. Užarena elektroda je katoda. Njoj je nasuprot hladna elektroda, tzv. anoda.

Trioda ima i treću elektrodu. Ova ima oblik mrežice i smještena je između katode i anode. Pomoću mrežice (rešetke) može se utjecati na struju elektrona koja kroz cijev teče, kroz vakuum, od vruće katode prema hladnoj anodi. Na mrežici treba samo mijenjati električni potencijal, što se očituje u snažnim promjenama anodne struje.

Ima i takvih cijevi koje u staklenom »balonu« nemaju najbolji vakuum, već određeni veoma razrijeđeni plin. U njima, osim elektrona, postoje i drugi slobodni nosioci električnosti, tzv. ioni.

Ionskih cijevi ima i sa užarenom i sa hladnom katodom. One s hladnom katodom bile su malobrojnije. Od njih su najpoznatije »tinjalice« od kojih posebna vrsta služi za stabilizaciju električnih napona. Nazivaju ih i stabilizatorcima.

Elektronske cijevi su u radio-tehnici i elektronici bile jedan od

najvažnijih elemenata. Radiotehnika i elektronika razvile su se upravo zahvaljujući elektronskim i ionskim cijevima. Danas su cijevi, najvećim dijelom, uspješno zamijenjene različitim diodama, tranzistorima, tiristorima i sličnim poluvodičkim proizvodima, osobito tzv. integriranim sklopovima (integralnim kolima).

Cijevi su se zadržale samo još u nekim specifičnim primjenama. Tu ubrajamo rendgenske cijevi, Geigerove i slične detektore radijacije, specijalne cijevi za snimanje i za reprodukciju slike u televizijskoj tehnici, te cijevi u snažnim radio-predajnicima.

Mnoge svjetske tvornice elektronskih cijevi potpuno su prekinule s proizvodnjom. Proizvode se samo one cijevi koje su potrebne za servisiranje postojećih uređaja starije konstrukcije i, dakako, elektronske cijevi za specijalne namjene.

U radio-amaterskim komunikacijskim uređajima (predajnicima i primopredajnicima) i danas se mogu naći, barem u izlaznim stupnjevima, elektronske cijevi — ukoliko je kod takvih uređaja snaga veća od 100 W. Budući da su tzv. izlazni tranzistori za snage između 10 do 100 W još vrlo skupi, skuplji od odgovarajućih cijevi, radio-amateri u svojim samogradnjama predajnika i danas još upotrebljavaju elektronske cijevi, iako će im možda netko reći da nisu sasvim »savremeni« (HI). I ovdje, u ovoj knjizi će biti kasnije govora o takvim primjenama elektronskih cijevi, ali — na savremeniji način.

Zato ćemo se upoznati s najosnovnijim cijevima i njihovim svojstvima.

VOJSTVA ELEKTRONSKIH I IONSKIH CIJEVI

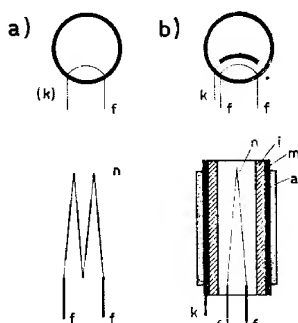
Dioda

Dioda je najjednostavnija elektronska cijev. Ima dvije elektrode, katodu i anodu.

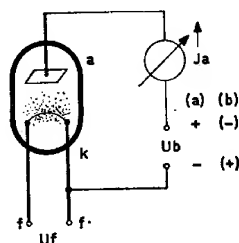
Najprije se katoda sastojala od metalne, najčešće volframove niti koja se grijala posebnom *strujom*. Katode od čistog volframa, koje su se u početku upotrebljavale, nisu bile osobit izvor elektrona i morale su biti zagrijane do vrlo visokih temperatura, preko 2000°C.

Današnje direktno grijanje katode (sl. 3-1a), imaju također volframovu nit, ali ona je prevučena nekim pogodnim »aktivnim« slojem, sastavljenim redovito iz barijevog oksida kojemu su dodane još neke primjese, stroncij, kalcij i drugo. Takav sloj emitira velike količine elektrona već kod temperatura ispod 1000°C.

Indirektno grijane katode se danas nalaze u najvećem broju elek-



Sl. 3-1. Katoda elektronske cijevi: a) direktno; b) indirektno grijana. k = izvod katode; $f-f$ = priključnice struje grijanja; n = žarna nit; i = sloj izolatora, keramika; m = metalna cjevčica; a = »aktivni« sloj katode koji emitira elektrone



Sl. 3-2. Dioda u strujnom krugu koji se kroz vakuum zatvara preko struje elektrona. Ovi izlaze iz užarene katode i lete prema anodi

tronskih cijevi. Kod njih je uklonjen glavni nedostatak direktno grijanih katoda, tj. nejednoličan raspored potencijala. Potencijal indirektno grijane katode je na čitavoj njenoj površini isti. Osim toga katoda je izolirana od grijalice pa se za žarenje katode može upotrebiti izmjenična struja. Primjer indirektno grijane katode je na sl. 3-1b.

Anoda, hladna elektroda koja je postavljena u blizini katode, privlači elektrone ako je pozitivno električna. Ako je ova hladna elektroda negativna, ona odbija elektrone koji su također negativno električni. U prvom slučaju kroz diodu teče električna struja dok u drugom slučaju struja ne može teći (sl. 3-2). Tako se dioda ponaša kao neki ventil, pa može poslužiti u tzv. ispravljačima izmjeničnih struja.

Vrlo slaba anodna struja teče kroz diodu i onda kad je anodni napon jednak nuli, kad je anoda na potencijalu katode. Elektroni iz katode izlijeću različitim brzinama pa će oni najbrži do anode dospjeti vlastitom energijom. Da se potpuno prekine anodna struja potreban je neki mali negativni anodni napon, obično oko 1 V.

Porastom pozitivnog anodnog napona raste i jakost anodne struje. Kod određenog, obično dosta visokog napona struja prestaje rasti. Postignuta je maksimalna struja elektrona koju može dati konkretna katoda. Ta se struja naziva strujom zasićenja.

Za praktičnu upotrebu treba paziti da se ne prekorače vrijednosti napona koje su predviđene za određenu diodu. Također ne treba diodu opterećivati jačim strujama nego je predviđeno.

Elektroni udaraju u anodu većim brzinama ako je anodni napon veći. Svaki elektron preda anodi određenu energiju pa je ukupna energija, koju anoda ovako primi, veća ako elektrona ima više, ako je anodna struja jača. Sva ova energija se pretvara u toplinu. Anoda diode ili bilo koje druge elektronske cijevi zagrijava se to jače što je snaga

$$P = U_a \cdot J_a$$

veća. Ova snaga naziva se *anodna disipacija* ili *opterećenje anode*.

Maksimalna snaga kojom se neka anoda smije opteretiti ovisi o mehaničkim i tehnološkim svojstvima elektronske cijevi. Taj se podatak redovito može naći u tvorničkim prospektima i ne smije se ni u kojem slučaju prekoračiti.

Trioda i njene karakteristike

Trioda je elektronska cijev u kojoj se pomoću treće elektrode na jednostavan način regulira jakost elektronske struje. Ta upravljačka elektroda ima oblik mrežice i postavljena je između katode i anode, na put elektronima. Naziva se *mrežica* ili *rešetka* i obično označuje slovom *g* (engl. *grid*).

Trioda sa svojim strujnim krugovima pokazana je na sl. 3-3. Nit za grijanje katode se u shemama najčešće ne crta, jer je sasvim jasno da se elektronka može koristiti samo onda ako se katoda užari. Osim strujnog kruga za grijanje, kod triode postoje još dva kruga, anodni strujni krug u kojemu su katoda i anoda, gdje teče anodna struja J_a , te strujni krug mrežice, u kojemu su katoda i mrežica.

Električki neutralna mrežica gotovo ništa ne smeta struji elektro-

na u cijevi. Kada je mrežica pozitivna prema katodi, ona postaje nova, dodatna »anoda« i preko nje teče jedan dio struje, struja mrežice. Kada je mrežica negativna prema katodi, ona odbija elektrone pa se tok elektrona prema anodi oslabljuje. Pri dovoljnom, tzv. »zaporom« naponu može se taj tok sasvim zaustaviti. Naponi na mrežici, kojima se može regulirati pa čak i potpuno zaustaviti anodna struja, su niski, obično nekoliko volta.

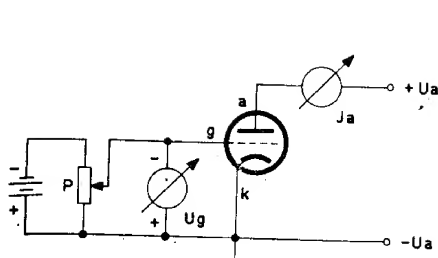
Niskim naponima na mrežici može se regulisati anodna struja koja je izazvana znatno višim naponima na anodi. Anodna struja triode ovisi o anodnom naponu i o naponu na mrežici.

Prema tome treba razlikovati dvije vrste karakteristika triode. Ovisnost anodne struje J_a o anodnom naponu U_a prikazuje se tzv. » J_a/U_a -karakteristikama«. To su krivulje od kojih svaka vrijedi za određen, stalan napon, tzv. »prednapon« mrežice. Ovisnost anodne struje J_a o naponu mrežice U_g prikazuje se tzv. » J_a/U_g -karakteristikama«, krivuljama koje, kao na sl. 3-3, svaka vrijedi za određen anodni napon U_a . Veličina toga napona je napisana uz svaku krivulju.

Na sl. 3-3 vidi se da su » J_a/U_g -karakteristike« nacrtane za područje *negativnih* vrijednosti napona mrežice. To je zbog toga jer je »prednapon« mrežice redovito negativan. Krivulje imaju savinut i ravan, *non-linear*ni i *linear*ni dio.

Za različite triode anodna struja se različito mijenja s promjenom napona na mrežici što utječe na oblik i na nagib krivulja. Za prosuđivanje svojstava neke triode je zato važan pojam *strmina*. Strmina je odnos promjene anodne struje trioda (ΔJ_a) i promjene napona na mrežici (ΔU_g) uz stalan anodni napon:

$$S = \frac{\Delta J_a}{\Delta U_g}$$

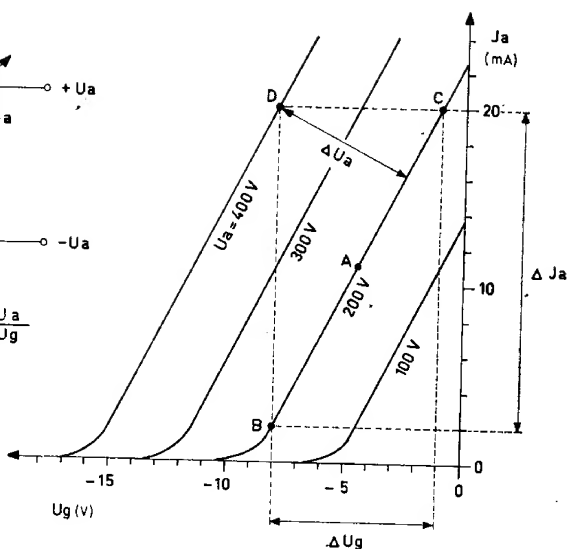


$$S = \frac{\Delta J_a}{\Delta U_g}$$

$$R_u = \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a}$$

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}$$

$$\boxed{\frac{S \cdot R_u}{\mu} = 1}$$



Sl. 3-3. Strujni krugovi i statičke karakteristike triode koje pokazuju ovisnost anodne struje (J_a) o prednaponu (U_g) za nekoliko različitih anodnih napona (U_a)

Izražava se u miliamperima po voltu i, ako se posebno ne navede, misli se na linearni dio karakteristike.

Promjenu anodne struje ΔJ_a , uzrokovanu promjenom napona mrežice ΔU_g , može se postići i tako da prednapon mrežice ostane konstantan, ali da se anodni napon promijeni za ΔU_a . Iz omjera ΔU_a i ΔJ_a izračunava se unutarnji otpor:

$$R_u = \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a}$$

Ovo je druga važna veličina koja karakterizira elektronsku cijev.

Odnos promjene anodnog napona ΔU_a i promjene prednapona ΔU_g je treća karakteristična veličina koja se bilježi slovom μ i naziva faktor pojačanja:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}$$

Rjeđe se umjesto faktora pojačanja navodi »prohvat«:

$$D = \frac{1}{\mu}$$

Između tri osnovne karakteristične veličine, strmine S , unutar-njeg otpora R_u i faktora pojačanja μ , vrijedi jednostavan odnos:

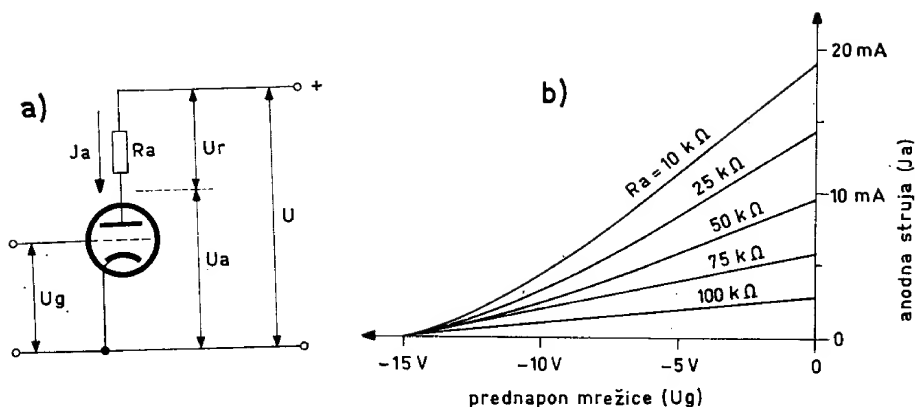
$$\frac{S \cdot R_u}{\mu} = 1$$

ako se strmina uvrsti u mA/V, a unutarnji otpor u k Ω .

Iz niza krivulja na sl. 3-3 mogu se odrediti sve tri karakteristične veličine. Ondje se vidi da je za neku triodu uz anodni napon od 200 V, potrebna promjena napona mrežice ΔU_g koja iznosi 7 V da se jakost anodne struje promijeni (ΔJ_a) za 18 mA. Za strminu se dobije:

$$S = \frac{\Delta J_a}{\Delta U_g} = \frac{18 \text{ mA}}{7 \text{ V}} = 2,57 \text{ mA/V}$$

Anodna struja se, uz stalan prednapon od -8 V, pojačava također za 18 mA, ako anodni napon



Sl. 3-4. a) Trioda s radnim otpornikom R_a i b) primjer dinamičkih karakteristika triode (J_a/U_g)

od 200 V poraste na 400 V. To znači da je $\Delta U_a = 200$ V. Za unutarnji otpor slijedi:

$$R_u = \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a} = \frac{200 \text{ V}}{18 \text{ mA}} = 11,1 \text{ k}\Omega$$

Za faktor pojačanja izlazi:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \frac{200 \text{ V}}{7 \text{ V}} = 28,6$$

Ako se strmina S pomnoži sa unutarnjim otporom R_u također se dobije faktor pojačanja:

$$\mu = S \cdot R_u = 2,57 \cdot 11,1 = 28,6$$

U strujne krugove obično se stavlja i neki radni otpor. Općenito može radni otpor biti kompleksan, no često je to realni otpor, tzv. »anodni otpornik«.

Na sl. 3-4a vidi se takav radni, anodni otpornik u anodnom strujnom krugu triode. Napon U dijeli se na anodni napon U_a i na pad napona na radnom otporniku U_r . Anodni napon je manji, ako je otpornik R_a veći. Osim toga anodni napon se mijenja pri promjenama anodne struje, koje također ovise o R_a . U takvom slučaju ne vrijede više J_a/U_g -karakteristike prema sl. 3-3, jer je tamo anodni napon bio konstantan. Umjesto onih »statič-

kih« karakteristika ovdje vrijede tzv. *dinamičke* karakteristike.

Dinamičke J_a/U_g -karakteristike triode pokazane su na sl. 3-4b za niz vrijednosti radnog otpornika. Kada je taj otpor malen, dinamičke karakteristike su slične statičkima. Uz povećanje radnog otpora karakteristike postaju položitiije. Strmina im je to manja što je radni otpor veći.

Dinamičke karakteristike su prema statičkim linearnije, što u nekim primjenama pogoduje.

Promjena napona na mrežici uzrokuje promjenu anodne struje, a ova opet promjenu pada napona, bilo na samoj triodi, bilo na radnom otporniku. Ove »izlazne« promjene napona su obično znatno veće od »ulaznih« promjena napona na mrežici, pa zato trioda može poslužiti kao »aktivni« radiotehnički, odnosno elektronički element u kojem se vrši pojačanje.

Elektronske cijevi s više mrežica

Da se postigne što veće pojačanje treba da cijev ima što veći faktor pojačanja μ i što veću strminu S . Da izobličenje bude što manje, treba područje linearnosti karakte-

Jedan dio elektrona može se od anode odbiti i vraćati se na zaštitnu mrežicu u obliku sekundarnih elektrona. U nekim uvjetima rada može se radi toga struja zaštitne mrežice pojačati a anodna struja oslabiti.

Da se ovaj efekt otkloni konstruirana je pentoda, elektronska cijev koja između zaštitne mrežice i anode ima još i treću tzv. *kočecu* mrežicu. Ona se spaja s katodom pa je negativno električna. Zadatak joj je da zakочи sekundarne elektrone i da ih vrati na anodu.

Unutarnji otpor pentode je mnogo puta veći nego kod triode, dok su međuelektrodni kapaciteti C_{ak} i C_{ag1} mnogo manji. Strmine kod pentoda i faktori pojačanja također su visoki.

Kod elektronskih cijevi s više od tri mrežice postoji više upravljačkih i zaštitnih mrežica. Te elektronske cijevi su heksoda, heptoda, oktoda i eneoda. Uloga pojedinih mrežica navedena je na tablici 3-1. Ove se elektronske cijevi upotrebljavaju za kombinirano upravljanje anodnom strujom, sa dva ili tri pobudna signala. One obavljaju tzv. »miješanje« signala, pa se zato zovu *cijevi za miješanje*.

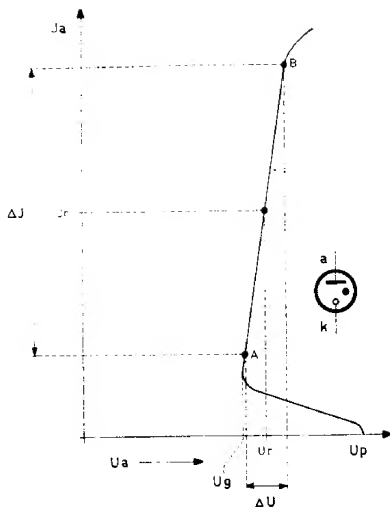
Višestruke elektronske cijevi

Često je nekoliko elektronskih sistema ugrađeno u zajednički balon. Te višestruke elektronske cijevi mogu imati međusobno ovisne ili potpuno neovisne sisteme.

Nekoliko višestrukih elektronki je shematski pokazano na sl. 3-6.

Tinjalica

Tinjalica je cijev koja ima dvije hladne elektrode u balonu ispunjenom razrijeđenim plemenitim plinom. Unutar plina postoji uvijek makar poneki slobodni elektron ili ion. Ako između elektroda postoji



Sl. 3-7. J_a/U_a karakteristika tinjalice. U_p = napon paljenja, U_g = napon gašenja, U_r = radni napon, J_r = radna jakost struje, ΔU i ΔJ su promjene napona i struje

napon, ovi se slobodni nosioci elektriciteta kreću prema odgovarajućim elektrodama. Pri nekom dovoljno visokom naponu kinetička energija postane dovoljna da ove čestice na svom putu stvaraju nove parove elektriziranih čestica. U tinjalici se tako stvori velik broj slobodnih nosilaca, pa kroz nju poteče struja, popraćena emitiranjem svjetlosti. Plin između elektroda svjetli hladnim, tinjavim svjetlom, od kuda i naziv ove cijevi.

Električne karakteristike tinjalice bitno se razlikuju od karakteristika vakuumskih cijevi. Tipična J_a/U_a -karakteristika tinjalice je na sl. 3-7. Do nekog relativno visokog napona paljenja U_p tinjalica ima neizmjenno velik otpor. Kada struja poteče, napon pada. Ako bi napon pao ispod tzv. napona gašenja U_g , struja bi prestala teći. Između ovih krajnosti je područje napona ΔU , unutar kojeg se napon između elektroda vrlo malo mijenja i kod velikih promjena jakosti struje ΔJ .

U seriju s tinjalicom stavlja se zaštitni otpor kojim se osigurava radna tačka u sredini ravnog dijela karakteristike, uz radni napon, odnosno radnu struju tinjalice.

Ispitivanje tinjalice može se izvršiti prema sl. 3-8a. Napon se odabire na potencijometru, u seriji s tinjalicom je zaštitni otpornik, a instrumentima se mjeri napon i jakost struje koja teče kroz tinjalicu.

Interesantna osobina tinjalice, da je napon između elektroda gotovo neovisan o jakosti struje unutar nekog dosta širokog područja, koristi se za stabilizaciju napona, (sl. 3-8b). Potrošač je spojen paralelno s tinjalicom. Izvor struje mora imati oko 50% viši napon od radnog da se osigura paljenje tinjalice. Zaštitni otpornik R_z ovisi o konkretnim radnim uvjetima. Za stabilizaciju se ne može upotrebiti svaka tinjalica nego samo ona koja ima dovoljno široko područje ΔJ i što

manji nagib karakteristike. Takve su specijalne stabilizatorske tinjalice.

Svojstvo tinjalice da se kod višeg napona pali a kod nižeg napona gasi iskorištava se u oscilatoru (sl. 3-8c). Kondenzator C puni se iz izvora istosmjernje struje preko otpornika R brzinom koja ovisi o vremenskoj konstanti RC . Kada napon na kondenzatoru postigne vrijednost napona paljenja tinjalice, kondenzator se preko nje prazni, ali samo do napona gašenja. Tada se kondenzator ponovo puni i proces se ponavlja. Na kondenzatoru pojavljuju se impulsi pilastog oblika.

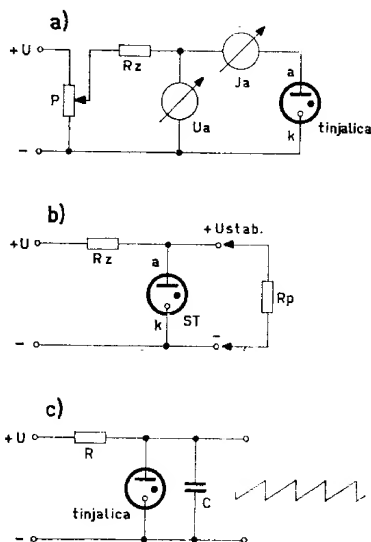
Oscilatori pilastih impulsa se u praksi upotrebljavaju za različite svrhe. Radi toga što nisu sinusni, bogati su cijelim nizom harmoničkih frekvencija, pa se mogu upotrebiti kao sonde za ispitivanje NF uređaja.

PRIMJENA ELEKTRONSKIH CIJEVI

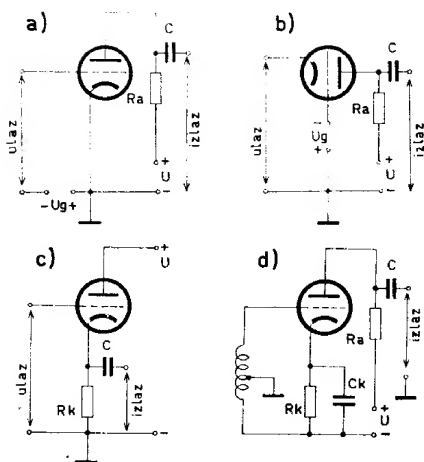
Zajednička elektroda

Trioda ima tri elektrode, katodu, mrežicu i anodu. I kod drugih elektronskih cijevi koje imaju više elektroda ove tri su osnovne. Ulazni signal dovodi se na jednu, izlazni signal odvodi se sa druge od ove tri elektrode, dok treća elektroda mora biti zajednička za ulazni i izlazni krug. U dosadašnjim primjerima spojeva elektronskih cijevi zajednička je bila katoda (sl. 3-9a). Ovaj sklop se u praksi najčešće koristi. Ulazni signal dovodi se između mrežice i katode. Izlazni signal uzima se između anode i katode. Pri tome ulazni strujni krug mora imati vodljivu vezu između mrežice i »— U_g » zbog prednapona.

Zajednička elektroda je ovdje katoda koja se redovito nalazi na najnižem potencijalu i često je spojena sa uzemljenjem. Zato se zove i »uzemljena« elektroda. Pojačalo, prema sl. 3-9a, bilo bi dakle »sa



Sl. 3-8. Neke primjene tinjalice: a) sklop za određivanje karakteristike; b) za stabilizaciju napona; c) oscilator »pilastog« (»testerastog«) napona kojemu frekvencija ovisi o vremenskoj konstanti RC



Sl. 3-9. Osnovni sklopovi za upotrebu elektronskih cijevi: a) sa zajedničkom katodom; b) sa zajedničkom mrežicom; c) sa zajedničkom anodom; d) sa zajedničkom tačkom koja je između mrežice i katode (»Zwischenbasis-Schaltung«)

uzemljenom katodom«. Međutim, izraz »zajednička elektroda« je ispravniji, jer se misli na elektrodu koja je zajednička za ulazni i za izlazni strujni krug. Ona ne mora uvijek biti uzemljena.

U prijemnicima, kao i u pojačalima za manje snage (za VF i NF) redovito se upotrebljavaju indirektno grijane cijevi. Kod kojih je katodu lako priključiti. Za vrlo velike snage služe i danas direktno grijane cijevi pa se postavlja problem pravilnog priključka direktno grijane katode, osobito u pojačalima »sa zajedničkom katodom« koja su najčešća.

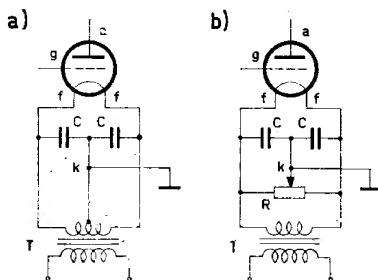
Najjednostavnije se kao priključak katode koristi srednji odvojak transformatorske zavojnice koja daje struju grijanja, kao na sl. 3-10a. Ako na transformatoru nema takvog odvojka, uzima se potencijometar razmjerno malog otpora R pa se njegov klizni kontakt (sl. 3-10b) uzme kao priključak katode (k).

Kondenzatori C osiguravaju »električnu sredinu« za frekvenciju signala koji se pojačava takvim cijevima.

Osim katode mogu i druge elektrode biti zajedničke. Sklop pojačala sa zajedničkom mrežicom (sl. 3-9b), često se upotrebljava u VF pojačalima.

Princip pojačala sa zajedničkom anodom vidi se na sl. 3-9c. Izvor struje za napajanje u anodnom krugu ne predstavlja nikakav otpor za izmjenični signal. Za njega je anoda na potencijalu »nula«. Ulazni signal se dovodi između mrežice i »anode«, a izlazni se uzima s katodnog otpornika R_k , dakle između katode i »anode«. Ovaj sklop ne pojačava napon signala. Signal koji je doveden na mrežicu (velik otpor) pojavljuje se samo malo oslabljen na katodi (malen otpor) pa takvo pojačalo radi kao transformator impedancije. Promjene napona na katodi vjerna su slika promjena napona na mrežici. Otuda ime »katod-follower« (»cathode follower«) ili katodno slijedilo (engl. »follow« = slijediti).

Osim samih elektroda u nekom pojačalu može biti »zajednička« i neka druga tačka. Tako je na sl. 3-9d zajednička tačka na odvojkulazne zavojnice. Ova tačka je, u



Sl. 3-10. Priključak za katodu k kod direktno grijanih elektronskih cijevi je na »električnoj sredini« žarne niti: a) na srednjem odvojkulazne zavojnice transformatora; b) na sredini potencijometra R

električnom smislu, između mrežice i katode. To je sklop pojačala »sa zajedničkom međutačkom« (»Zwischenbasis-Schaltung«) Upotrebljava se u VF pojačalima za ultrakratke valove.

Pojačalo s triodom

Pojačalo je sklop u kojem se promjenljive električne veličine, napon i struja, malih amplituda, prevode u slične promjene većih amplituda. Budući da u radio-tehnici takva promjenljiva veličina u sebi nosi neku informaciju, naziva se *signal*. Pojačalo se sastoji od aktivnog elektroničkog elementa, npr. triode, te niza pomoćnih elemenata i izvora pogonske električne energije.

Sklop pojačala s triodom pokazan je na sl. 3-11. U anodnom strujnom krugu nalazi se radni otpornik R_a , dok se u krugu mrežice nalazi izvor U_g koji osigurava da mrežica uvijek ima neki negativan napon prema katodi, tzv. prednapon. Ulazni signal se na mrežicu mora dovoditi tako da se zbraja s prednaponom, što je u ovom slučaju postignuto transformatorom T_1 kojega je sekundarna zavojnica spojena u strujni krug mrežice.

Male promjene napona na mrežici uzrokuju promjene jakosti anodne struje. Kao »izlazni signal« koriste se promjene pada napona na anodnom radnom otporniku R_a . Ako je taj otpornik čisto »om-

ski«, onda promjene pada napona na njemu vjerno slijede svaku promjenu jakosti anodne struje. Promjene »izlaznog napona«, redovito su veće od promjena ulaznog napona, trioda pojačava.

Odnos promjena izlaznog napona (Δu_i) prema promjenama ulaznog napona (Δu_u) naziva se *pojačanje*:

$$A = \frac{\Delta u_i}{\Delta u_u}$$

Stvarno pojačanje je uvijek manje od faktora pojačanja μ elektronske cijevi, a može se izračunati ovako:

$$A = \mu \frac{1}{1 + \frac{R_u}{R_a}}$$

Pojačanje A koje se može postići ovisi o odnosu unutarnjeg otpora cijevi R_u i veličine anodnog otpora R_a . U pojačalima s triodnim elektronskim cijevima obično se uzima R_a koji je oko deset puta veći od unutarnjeg otpora cijevi, pa najveće pojačanje s triodom iznosi oko 90% njenog faktora pojačanja μ .

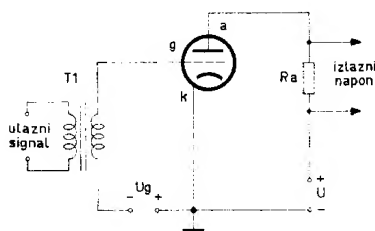
Kod elektronskih cijevi s velikim unutarnjim otporom (vidi: Elektronske cijevi s više mrežica), radni otpornik je redovito manji od unutarnjeg i može se u relaciji za pojačanje zanemariti. Iz poznatog odnosa strmine, unutarnjeg otpora i faktora pojačanja slijedi jednostavan izraz za pojačanje:

$$A = S \cdot R_a$$

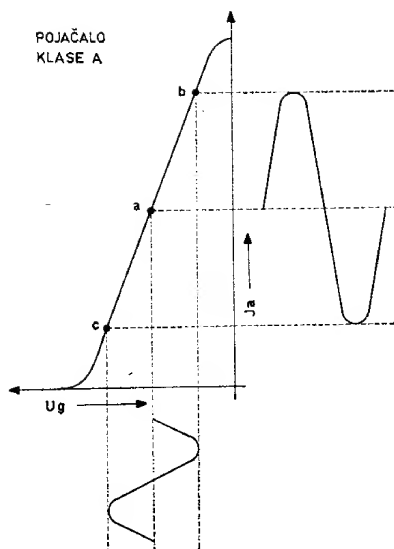
Kod ovih cijevi dinamička strmina se skoro podudara sa statičkom.

Izbor radne tačke

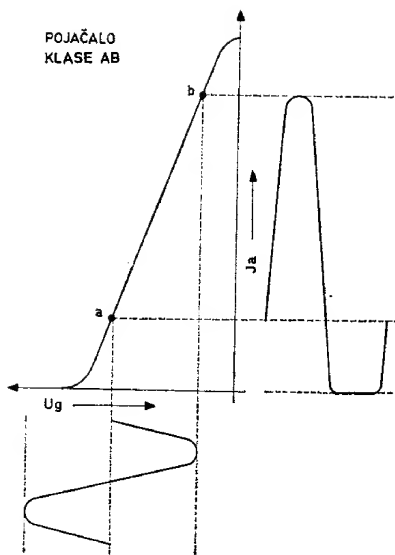
Signal se u svrhu pojačavanja dovodi između mrežice i katode. Da bi se izbjegla struja mrežice, mrežica redovito ostaje negativna, pa i kod pozitivnih amplituda sig-



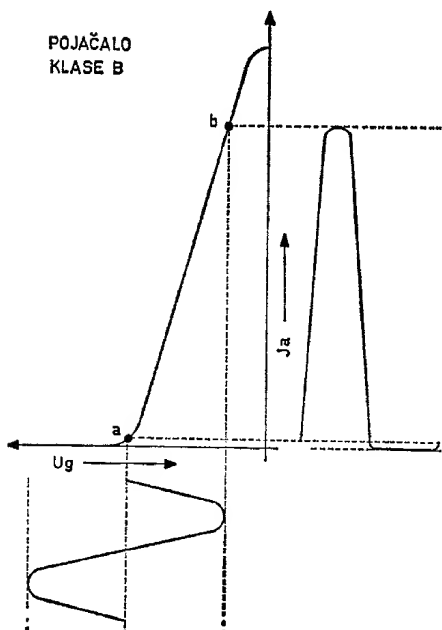
Sl. 3-11. Osnovni sklop pojačala s triodom



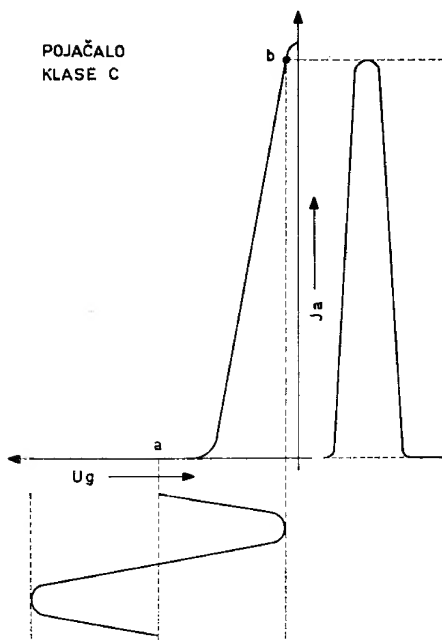
Sl. 3-12. Rad pojačala klase A



Sl. 3-14. Rad pojačala klase AB



Sl. 3-13. Rad pojačala klase B



Sl. 3-15. Rad pojačala klase C

nala. Zato se na mrežicu obično stavlja stalan, *negativan* prednapon, koji mora biti dovoljno velik. Prednaponom mrežice određena je »mirna« jakost anodne struje (dok još nema ulaznog signala) u tzv. *radnoj tački*.

Prema položaju radne tačke za karakteristici cijevi razlikuju se nekoliko *klasa* pojačala. To su klasa A, klasa B, klasa AB i klasa C.

Grafički prikaz rada pojačala u klasi A nalazi se na sl. 3-12.

Da bi promjene anodne struje mogle vjerno slijediti promjene napona na mrežici, potrebno je:

- da se radi u području, gdje je jakost anodne struje linearno ovisna o naponu na mrežici, a to je ravni dio karakteristike;

- da je ulazni signal malen, tako da ne izlazi iz područja linearnosti.

Radi toga se i prednapon za rad u klasi A odabire tako da radna tačka pada u sredinu linearnog dijela karakteristike.

Uz male ulazne signale koji ne prekoračuju linearno područje ovo pojačalo radi bez izobličenja. Zbog prilično jake struje mirovanja koja teče i onda dok signala nema, električna energija se troši, pa je njeno istorištenje razmjerno maleno.

Pojačala klase A se upotrebljavaju za naponsko pojačanje i za pojačanje snage, ako je moguće zanemariti njihovu neekonomičnost.

Pojačalo radi u klasi B, ako je radna tačka u dnu karakteristike (sl. 3-13). Anodna struja mirovanja je skoro jednaka nuli. Ona postaje jača samo za vrijeme pozitivnih poluperioda ulaznog signala. Koeficijent iskorištenja je velik, pa niskofrekventna izlazna pojačala za velike snage obično rade u ovoj klasi.

Kad se radna tačka nalazi u donjem dijelu karakteristike (sl. 3-14) pojačalo radi u klasi AB. Pozitivne poluperiode ulaznog signala pojača-

vaju se vjerno, dok se negativne djelomično izobličuju.

Ako je prednapon negativniji od zapornog napona mrežice, anodna struja teče samo onda kada je ulazni napon dovoljno visok. Takvo pojačalo radi u klasi C. Anodna struja teče samo u jednom dijelu pozitivne poluperiode ulaznog signala. Struja mirovanja jednaka je nuli a anodna struja se sastoji od niza isprekidanih i izobličenih impulsa (sl. 3-15). Ovo pojačalo ne upotrebljava se u NF stupnjevima. Radi velikog stupnja iskorištenja električne energije ovo se pojačalo često koristi u izlaznim stupnjevima predajnika.

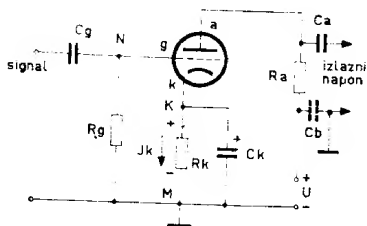
Automatski prednapon mrežice

Prednapon mrežice može se, u principu, dobiti posebnim izvorom struje. Osim što ovo nije ni praktično ni ekonomično, ovaj izvor bi morao imati vrlo stalan napon, jer se promjenom prednapona mijenja radna tačka.

Za pojačala klase A može se prednapon dobiti automatski (sl. 3-16). U strujnom krugu katode nalazi se otpornik R_k . Kroz njega prolazi katodna struja J_k , pa uslijed toga na otporniku dolazi do pada napona. Pad napona je po polaritetu takav da mu je na strani katode (K) »plus«, a na uzemljenoj strani (M) »minus«.

Mrežica je spojena preko otpornika R_g na tačku M . Kako struja mrežice redovito ne teče, na R_g nema pada napona pa je tačka N na istom potencijalu kao i tačka M . Mrežica je *negativnija* od katode za iznos pada napona na katodnom otporniku. Potrebna vrijednost katodnog otpornika može se jednostavno izračunati. Npr.: za prednapod od 2 V, uz katodnu struju od 10 mA, potreban je katodni otpornik:

$$R_k = \frac{U_g}{J_k} = \frac{2 \text{ V}}{10 \text{ mA}} 10^3 = 200 \Omega$$



Sl. 3-16. Automatsko dobivanje prednapona mrežice padom napona na katodnom otporniku (R_k)

Katodni otpornik je znatno manji od unutarnjeg otpora elektronske cijevi i radnog otpornika anode. On bitno ne utječe na visinu anodnog napona.

Kod prolaza promjenljive anodne struje bio bi i pad napona na katodnom otporniku promjenljiv, pa ne bi mogao služiti za stalan prednapon mrežice. Zato se paralelno katodnom otporniku dodaje kondenzator velikog kapaciteta, koji djeluje kao kratak spoj za izmjeničnu komponentu katodne struje. Vrijednost katodnog kondenzatora za uobičajene elektrone u NF stupnjevima iznosi nekoliko desetaka mikrofaraada, a u VF stupnjevima nekoliko nanofarada. Kako je katodni napon nizak, za ovo se upotrebljavaju niskonaponski elektrolitski kondenzatori.

U pojačalo (sl. 3-16) ulazni signal se dovodi preko kondenzatora C_g . Da odvodni otpornik mrežice R_g ne bi kratko spajao ulazni signal, mora imati velik otpor, obično oko 1 M Ω .

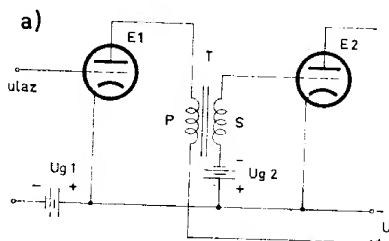
Izlazni signal se obično ne uzima direktno sa radnog otpornika R_a , nego sa onog njegovog kraja koji je bliže anodi i sa negativnog pola izvora struje U , tj. sa tačke najnižeg potencijala. To je jedna vrsta kapacitivne veze preko kondenzatora C_a i preko izvora pogonske energije, koji je na sl. 3-16 simboliziran kapacitetom C_b .

Veza između stupnjeva pojačala

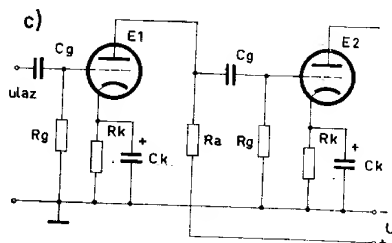
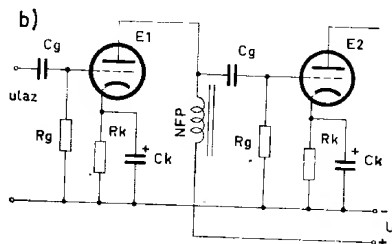
Pojačanje se jednom cijevi je ograničeno. Da se postigne veće pojačanje nekoliko stupnjeva veže se jedan za drugim, u kaskadu. Kod takvog vezanja izlazni signal prethodnog stupnja koristi se kao ulazni signal slijedećeg stupnja. Ukupno pojačanje jednako je umnošku pojačanja pojedinih stupnjeva:

$$A = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \dots$$

Veza između stupnjeva može biti direktna (galvanska), transforma-



l.



Sl. 3-17. Tri primjera veze između stupnjeva: a) transformatorska veza; b) kapacitivna veza s prigušnicom NFP kao radnim otporom; c) kapacitivna veza s radnim otpornikom R_a , tzv. RC-veza

torska ili kapacitivna. Direktna veza se u radio-tehnici vrlo rijetko upotrebljava.

Transformatorska veza između stupnjeva pokazana je na sl. 3-17a. U anodni strujni krug prve elektronske cijevi spojena je primarna zavojnica transformatora, dok je sekundarna zavojnica u strujnom krugu mrežice slijedeće cijevi. Da se odrede radne tačke mrežicama se moraju osigurati prednaponi U_{g1} i U_{g2} . Na slici je nacrtan NF transformator T , ali to može biti i neki VF transformator.

Kapacitivno vezivanje stupnjeva najviše se koristi. Realizira se preko kondenzatora za vezu C_g . Kao radni otpor može se koristiti niskofrekventna prigušnica (sl. 3-17b) ili otpornik (sl. 3-17c).

Izlazno pojačalo

Ako pojačalo treba izvršiti neki rad, npr. pokretati membranu zvučnika, mora posljednji, izlazni stupanj pojačala dati određenu snagu.

Potrošači koji se priključuju na izlazno pojačalo obično nemaju potreban otpor da bi mogli najbolje iskoristiti svu snagu koju cijev može dati. Tako npr. dinamički zvučnik ima otpor samo od nekoliko oma, što je premalo! Potrošač se zato spaja na pojačalo pomoću prilagodnog transformatora, kako je pokazano na sl. 3-18. U strujnom krugu anode je primarna zavojnica izlaznog transformatora koja ima impedanciju Z_a , potrebnu da se postigne određena izlazna snaga. Sekundarna zavojnica ima impedanciju potrošača Z_p . U ovom slučaju transformira se impedancija, da se potrošač prilagodi pojačalu. Impedancije se odnose kao kvadrati brojeva zavoja:

$$\frac{Z_a}{Z_p} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

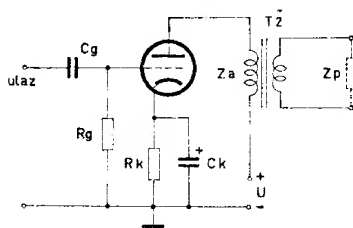
Impedancija potrošača sastavljena je obično od omskog i induk-

tivnog otpora. Za dinamičke zvučnike, npr. impedancija je, pri frekvenciji od 800 Hz, otprilike 25% veća od njihovog omskog otpora. Tako zvučnik omskog otpora 4 Ω ima impedanciju oko 5 Ω .

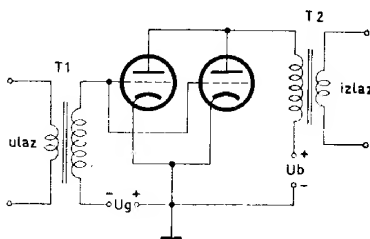
Da se poveća snaga izlaznog stupnja može se više elektronskih cijevi spojiti paralelno. Jedan takav primjer je na sl. 3-19. Paralelno se mogu spajati samo istovrsne elektronske cijevi, sa jednakim karakteristikama.

Anodni napon i prednapon za mrežice su jednaki kao kod pojačala sa jednom cijevi. Jakost anodne struje je dvostruko veća, ali su unutrašnji otpor i izlazna impedancija Z_a upola manji.

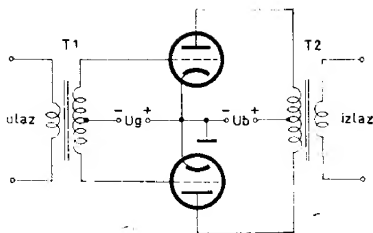
Zbog opasnosti nastajanja neželjenih, »divljih« titraja, paralelno spajanje elektronskih cijevi vrlo rijetko se primjenjuje u praksi. Bolje je odmah upotrebiti jaču elektronsku cijev.



Sl. 3-18. Impedancija Z_p potrošača prilagođuje se izlaznoj impedanciji elektronske cijevi izlaznim transformatorom T_2



Sl. 3-19. Princip pojačala s paralelno spojenim elektronskim cijevima



Sl. 3-20. Princip niskofrekventnog pojačala s elektronskim cijevima spojenim u protufazi; »push-pull« ili PP-pojačalo

Znatno više se primjenjuje protufazno pojačalo. Pojačalo s protufazno spojenim elektronskim cijevima pokazano je na sl. 3-20. Ulazni transformator T_1 ima srednji odvojak na svojoj sekundarnoj strani, kao i izlazni transformator T_2 na svojoj primarnoj. Zato su faze izmjeničnih napona na mrežicama i na anodama suprotne. Takvo pojačalo se u literaturi naziva PP ili »push-pull« (engl.: »push« = gurati; »pull« = vući). Ovo upućuje na složen rad cijevi: dok se u jednoj jakost anodne struje pojačava, u drugoj se smanjuje i obratno.

Protufazno NF pojačalo može raditi u klasi A, u klasi B i u klasi AB. Prema veličini ulaznog, »pobudnog« napona na mrežicama može se razlikovati klasa AB_1 od klase AB_2 . Kod prve je pobuda nešto slabija, toliko da još ne može teći struja preko mrežica. Kod klase AB_2 pobuda je jača pa preko mrežica teče struja J_g .

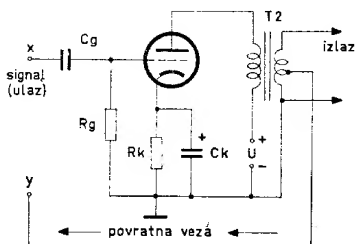
Na sl. 3-13 i sl. 3-14, kod pojačanja u klasi B i u klasi AB, pojavljuju se u pojedinoj elektronskoj cijevi *izobličenja*, ali ih protufazno zbrajanje u izlaznom transformatoru uspješno uklanja. Reprodukcijska protufaznim pojačalima je zato osobito čista i vjerna.

Glavna poteškoća kod gradnje protufaznih pojačala je u tome da moraju biti što simetričnije načinjena.

Povratna veza

Povratna veza ima u radio-tehnici veliku primjenu. Bit je povratne veze u tome da se dio izlaznog signala ponovo vraća na ulaz pojačala. Jedan način izvođenja povratne veze vidi se na sl. 3-21. Tu se sa dijela sekundarne zavojnice izlaznog transformatora uzima napon i vraća na ulaz pojačala.

Kod elektronske cijevi izlazni signal ima suprotnu fazu od ulaznog signala. Zato se takvom povratnom vezom smanjuje pojačanje, to je *negativna* povratna veza. Koliko se smanji pojačanje, u istoj mjeri smanjuje se i izobličenje. Zato se negativna povratna veza upotrebljava kod NF pojačala gdje se želi dobiti što kvalitetnija reprodukcija. Ulazni signal se dovodi na priključnice x i y . Stupanj povratne



Sl. 3-21. Princip povratne veze

veze može se mijenjati biranjem odvojka na izlaznom transformatoru. Tako se postiže najpovoljniji odnos između pojačanja i izobličenja.

Ako kod povratne veze dio izlaznog signala koji se vraća na ulaz ima jednaku fazu kao i ulazni napon, pojačanje postaje veće. Takva povratna veza je *pozitivna*. Pozitivna povratna veza ima veliku primjenu u VF stupnjevima i u oscilatorima.

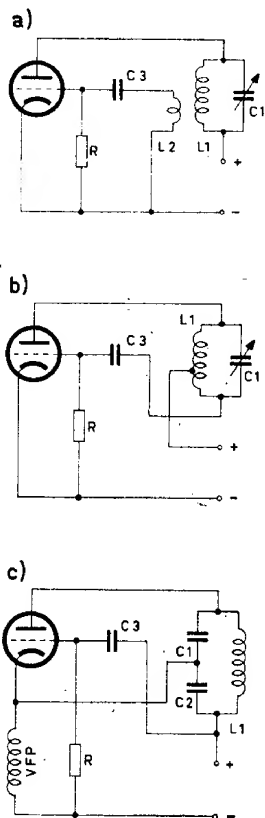
Oscilatori

Sklop u kojem se pomoću aktivnog elektroničnog elementa stvaraju i održavaju neprigušeni električni

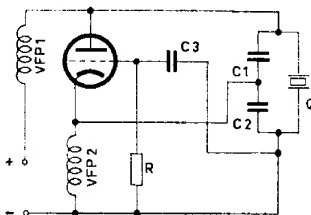
ni titraji (oscilacije) naziva se oscilator. Oscilacije nastaju u titrajnom krugu. Aktivni element, tj. elektronska cijev, može se shvatiti kao automatski sinhronizirani prekidač. Cijeli sklop oscilatora može se također shvatiti kao pojačalo s vrlo jakom pozitivnom povratnom vezom.

Bitni dijelovi ovakvog oscilatora su titrajni krug, elektronska cijev i povratna veza.

Prvi oscilator neprigušenih titraja s elektronskom cijevi konstruirao je Meissner (Majnsner) 1912. godine. Oscilator toga tipa pokazan je na sl. 3-22a. Titrajni krug, sastav



Sl. 3-22. Osnovni spojevi oscilatora s elektronskim cijevima: a) u Meissnerovom; b) u Hartley-evom; c) u Colpitts-ovom sklopu



Sl. 3-23. Oscilator s kristalom Q i sa kapacitivnim djeliteljem VF napona, kao kod Colpitts-ovog sklopa

ljen od zavojnice L_1 i kondenzatora C_1 , uklopljen je u anodni strujni krug triode. Pokraj zavojnice L_1 nalazi se zavojnica L_2 kojom se ostvaruje povratna veza. Napon za povratnu vezu dovodi se između mrežice i katode. Povratna veza mora biti pozitivna. Zato nije svejedno koji se kraj zavojnice za povratnu vezu spoji na katodu, a koji na mrežicu. U praksi se obično ispravan polaritet određuje pokusom.

Kod oscilatora Hartleyevog tipa napon za povratnu vezu uzima se s dijela zavojnice titrajnog kruga (sl. 3-22b). Ovdje se vidi da je mrežica spojena na donji dio titrajnog kruga, dok je katoda (preko izvora anodne struje) spojena na odvojak zavojnice.

Napon za povratnu vezu može se uzeti i sa kapacitivnog djelitelja izmjeničnog napona. U tom slučaju moraju u titrajnom krugu biti dva kondenzatora, C_1 i C_2 (sl. 3-22c). Tako se dobije Colpitts-ov oscilator. Katoda triode je za istosmjernu komponentu struje spojena preko prigušnice VFP na negativan pol izvora anodne struje. Za izmjeničnu komponentu struje katoda je spojena direktno na kapacitivni razdjelnik u titrajnom krugu. Ovo razdvajanje istosmjerne komponente struje od izmjenične komponente obavlja prigušnica, budući da je njen otpor za istosmjernu struju malen a za izmjeničnu struju velik (zbog dodatnog induktivnog otpora!).

Da se dobiju titraji osobito stalne frekvencije, umjesto titrajnog LC-kruga u oscilator se može sta-

viti piezoelektrični kristal Q . Jedan od mnogih mogućih spojeva oscilatora s kristalom je na sl. 3-23. Napon za povratnu vezu uzima se s kapacitivnog razdjelnika napona VFP_1 i VFP_2 su visokofrekventne prigušnice.

Od ovih osnovnih oscilatora postoji velik broj varijanata. Svaki od njih ima više izražene neke od karakteristika, kao što su stabilnost frekvencije, visina amplitude titraja u širokom području frekvencija, utjecaj pogonskih uvjeta na frek-

venciju itd. U praksi se odabire ono što je za konkretan slučaj najpovoljnije.

Oscilatori se razlikuju još i po tome kako su priključeni na izvor električne struje. Ako su izvor anodne struje, elektronska cijev i titrajni krug spojeni u seriji, kao što je to kod oscilatora na sl. 3-22, onda je to oscilator sa serijskim napajanjem. Ako su spojeni paralelno, kao što je to kod oscilatora na sl. 3-23, onda je to oscilator sa paralelnim napajanjem.

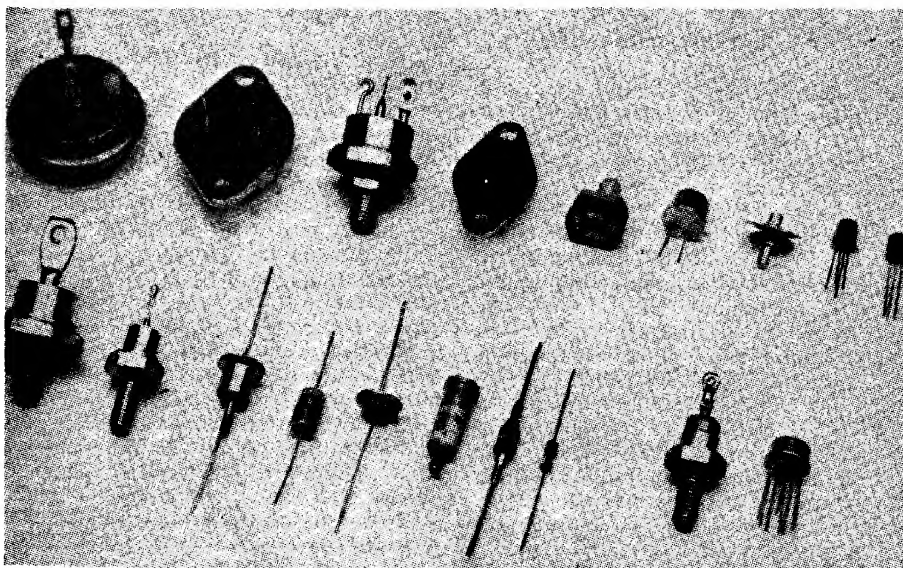
POLUVODIČKE DIODE I TRANZISTORI

KRISTALNI POLUVODIČI

Poluvodički kristali upotrebljavali su se od prvih dana radio-tehnike. »Kristalni detektor« načinjen od metalnog šiljka koji je prislonjen na kristal galenita ili pirita bio je nekad najjednostavniji demodulator, jeftin i svakome pristupačan. U najjednostavnijim prijemnicima kristalni detektor ima danas svog nasljednika u modernoj kristalnoj diodi.

Prve kristalne diode bile su prije četrdesetak godina konstruirane za potrebe radarske tehnike.

Razvoj tehnike tražio je kvalitetnije diode. Istražujući svojstva tadašnjih kristalnih dioda J. Bardeen (Bardin) i W. Brattain (Bretten) zapazili su (1948) neobično ponašanje nekih kristala, osobito germanija. Na kristal koji se nalazio na vodljivoj podlozi bila su prislonjena dva metalna šiljka. Promjenom struje koja je tekla između



Sl. 4-1. Poluvodički elementi. U gornjem redu lijevo su snažni tranzistori, desno do njih tranzistori manjih snaga. U donjem redu su najprije različite kristalne diode. Posljednji u tom redu, s mnogo izvoda, je integrirani sklop

podloge i jednog šiljka mijenjala se jakost struje koja je tekla preko drugog. Ovo su oni nazvali »TRANSFER resISTOR« (»prenašajući otpornik« i od toga dolazi naziv novog elektroničkog elementa *tranzistor* i naziv pojave *tranzistorski efekat*).

Tranzistor pokazuje svojstva aktivnog elektroničkog elementa. Male promjene jakosti struje u jednom strujnom krugu izazivaju velike promjene jakosti struje u drugome.

W. Shockley (Šokli) je dao (1948) teorijsko tumačenje tranzistorskog efekta i usavršio tehnologiju tranzistora. Za svoj rad dobio je, zajedno s prvom dvojicom, Nobelovu nagradu (1956).

Poluvodički elementi pokazali su niz prednosti pred elektronskim cijevima i do danas ih istisnuli iz većine primjena (sl. 4-1). Razvoj je takav da se skoro svaki dan pojavljuju novi, kvalitetniji poluvodički elementi i proširuje njihova upotreba.

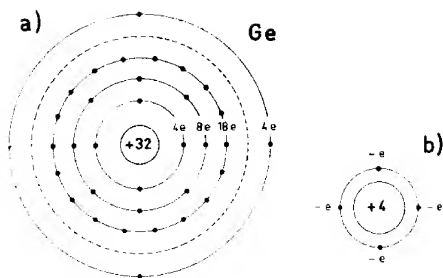
Svojstva kristalnih poluvodiča

Materijali od kojih su načinjeni kristalne diode i tranzistori, germanij i silicij, nalaze se po električnoj vodljivosti između izolatora i vodiča. Oni su *poluvodiči*. Svojstva poluvodiča najprije su bila proučena na kristalu germanija.

Germanij je element četvrte skupine periodskog sistema elemenata, s rednim brojem 32. U vanjskoj ljusci atoma germanija nalaze se četiri elektrona i samo oni sudjeluju u kemijskim vezama.

Atom germanija skiciran je na sl. 4-2a. Budući da su za veze važni samo elektroni vanjske ljuske, model se može pojednostaviti tako da se promatraju samo ovi elektroni, dok je sav preostali dio atoma stabilan i ima naboj »+4« (sl. 4-2b).

Atomi germanija u kristalu međusobno su spojeni tzv. kovalentnom vezom, gdje susjedni atomi imaju po dva zajednička elektrona. Savršeno čist i pravilan kristal ger-



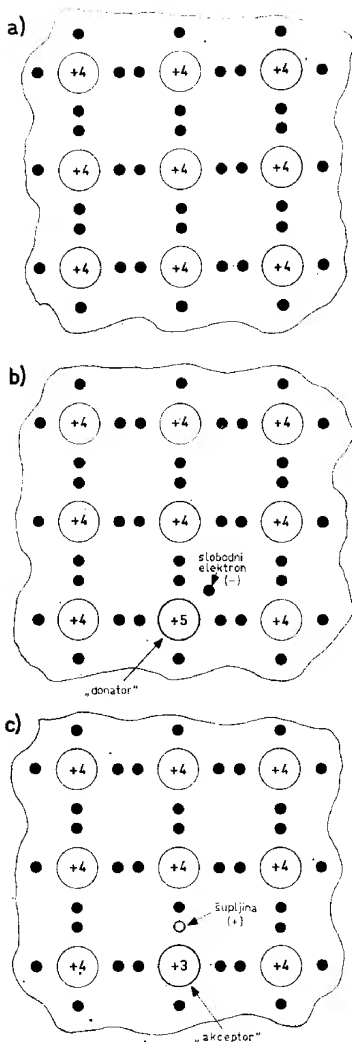
Sl. 4-2. Modeli atoma germanija: a) model sa jezgrom, unutrašnjim i vanjskim elektronima, raspoređenim u ljuske; b) pojednostavljen model. Prikazani su samo elektroni u vanjskoj ljusci. Preostali dio atoma ima ukupan naboj »+4«. Na takav bi se način mogao prikazati i atom silicija, pa slika b) vrijedi i za njega; razlike su samo u jezgri i u broju elektrona u unutrašnjim ljuskama

manija nema slobodnih nosilaca elektriciteta. On je izolator. Komadić takvog kristala prikazan je na sl. 4-3a.

Već kod sobne temperature poneki elektron je uslijed termičkog nemira izbačen iz svog mjesta i slobodno se kreće po kristalu. Mjesto iz kojega je izbačen može sada popuniti svaki drugi elektron. Upražnjeno mjesto se također može premještati po kristalu. Takva šupljina privlači slobodne elektrone i ponaša se kao pozitivan nosilac elektriciteta. Šupljine i elektroni se međusobno rekombiniraju, a termički nemir ih ponovo stvara. Kristal u kojemu ima šupljina i slobodnih elektrona je električni vodič. Takva vodljivost ovisna je o temperaturi i ne da se koristiti.

Čist kristal germanija je vrlo teško načiniti. Među atome germanija u kristalnu rešetku ugrade se vrlo lako i atomi drugih elemenata. Ove se primjese mogu i namjerno dodati da se postignu određena električna svojstva kristala.

Kada se u kristalnu rešetku germanija ugradi, npr. neki atom pete



Sl. 4.3. Djelić kristala germanija: a) potpuno čist germanij; b) s primjesama »donatora« koji donosi po jedan slobodni elektron; c) s primjesama »akceptora« uslijed kojih nastaju pozitivne »šupljine«. Slično se događa i u kristalima silicija

skupine, on donese višak od jednog elektrona. Taj elektron je slobodan i doprinosi vodljivosti kristala. Elementi koji donose višak elektrona

nazivaju se *donatori* ili donori. Ugradnjom elemenata treće skupine nastaju šupljine. Ti elementi se nazivaju *akceptori*. Već neznatan dodatak stranih atoma daje kristalu dobru električnu vodljivost. Kristal germanija s »ugrađenim« donatorom prikazan je na sl. 4-3b, a sa akceptorom na sl. 4-3c.

Kristal u kojemu ima višak donatora, dakle, gdje prevladava vodljivost pomoću negativnih nosilaca elektriciteta, naziva se *n-tip* kristala, dok se kristal u kojemu ima višak akceptora, pa prevladava vodljivost pomoću pozitivnih nosilaca, naziva *p-tip* kristala. Vodljivost kristala ovisi o množini dodatnih atoma, o stupnju »dotiranja«, pa kristal može biti jako ili slabo dotiran, p- ili n-tip.

Osnovna »sirovina« za proizvodnju poluvodičkih elemenata su kristali germanija, silicija i galij-arsenida. Kao donatori mogu biti fosfor, arsen, antimon, bizmut; kao akceptori galij, bor, aluminij, indij, talij.

Kristal koji je dotiran sastoji se od:

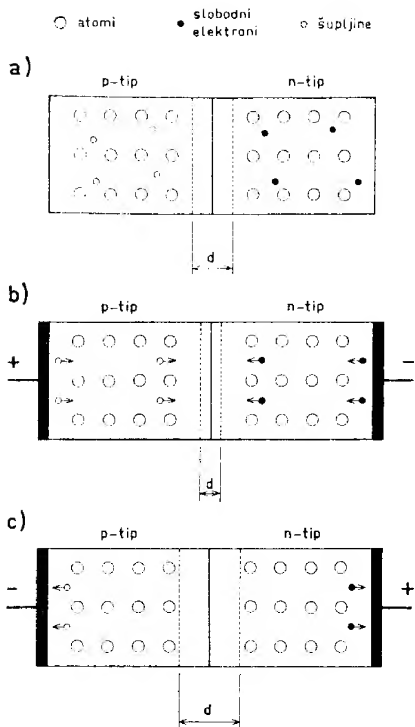
- neutralnih atoma osnovnog elementa,
- iona primjesa,
- slobodnih elektrona,
- šupljina,
- i uvijek nešto slobodnih nosilaca, nastalih drugim utjecajima npr. topline, svjetlošću itd.

Električna struja teče kroz kristal poluvodiča na dva načina: kao struja elektrona i kao struja šupljina. Pokretljivost elektrona je veća (za germanij 3800; za silicij 1300 cm^2/Vs) od pokretljivosti šupljina (za germanij 1800; za silicij 500 cm^2/Vs).

KRISTALNE DIODE

Spoj p-tipa i n-tipa kristala

Osnovni poluvodički kristal može se dotirati s jedne strane akceptorima a s druge strane donatorima.



Sl. 4.4. Model kristalne diode sastavljene od poluvodiča tipa p i tipa n: a) bez napona; b) s naponom za »propusni«, prolazni smjer; c) sa »zapornim« naponom

Na taj se način može dobiti spoj p-tipa i n-tipa kristala. Shematski je to nacrtano na sl. 4.4a. U sloju gdje se p-tip i n-tip dodiruju, rekombiniraju se šupljine i slobodni elektroni pa tamo *nema* slobodnih nosilaca elektriciteta. Taj sloj nije vodljiv i naziva se *zaporni sloj*. Njegova debljina d je tolika da se šupljine i slobodni elektroni iz suprotnih djelova kristala više ne mogu rekombinirati.

Spoj p- i n-tipa kristala pokazuje u strujnom krugu interesantnu pojavu. Kada se na njega priključi istosmjerni napon, tako da je pozitivni pol na p-tipu kristala a negativni na n-tipu (sl. 4.4b), šupljine se kreću prema negativnom polu a

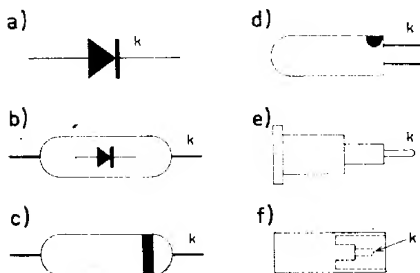
slobodni elektroni prema pozitivnom polu. Već pri vrlo niskim naponima jakost električnog polja je dovoljna da nosioci elektriciteta prođu kroz zaporni sloj. Njegova se debljina d smanjuje i kristal *vodi* električnu struju.

Ako se polaritet priključenog napona izmijeni (sl. 4.4c), šupljine se skupljaju na pozitivnoj elektrodi, slobodni elektroni na negativnoj. Širina zapornog sloja se povećava i kristal više *ne vodi*.

Prolaz struje je ovdje ovisan o polaritetu priključenog napona. Spoj p-n ponaša se kao električni ventil pa se zato naziva *kristalna dioda*.

Prema tome koji je kristal osnovni i kako je dotiran ima više vrsta germanijevih i silicijevih kristalnih dioda.

Za praktičnu upotrebu važno je znati koji je izvod »anoda«, a koji je »katoda«. Simbol kristalne diode je na sl. 4.5a. Na ostalim crtežima (sl. 4.5b do f) prikazano je nekoliko oblika kristalnih dioda. Kod većine je označen izvod kato-*de* (k) nekim obojenim znakom ili na neki drugi, lako uočljiv način.



Sl. 4.5. Kristalne diode: a) simbol za crtanje diode. Ostalo su različite izvedbe sa oznakama za katodni priključak

Karakteristike kristalnih dioda

U propusnom smjeru struja kroz diodu naglo raste s porastom priključenog napona. Na sl. 4.6 tipična

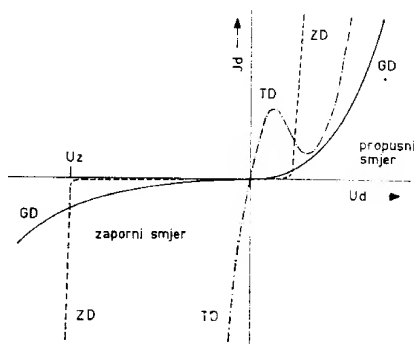
karakteristika obične germanijeve kristalne diode označena je sa *GD*.

U svakom kristalu p-tipa akceptor su u suvišku, ali ima nešto i donatora. Analogno ovome u n-tipu kristala ima uz donatore i malo akceptora. Radi toga kristalne diode vode električnu struju, iako znatno slabije, i u drugom tzv. nepropusnom ili zapornom smjeru. Kod germanijevih dioda jakost struje u zapornom smjeru polagano raste s porastom zapornog napona. Kvalitet diode kao električnog ventila ovisi o omjeru otpora u propusnom i otpora u zapornom smjeru. Otpor u zapornom smjeru redovito je znatno veći od otpora u propusnom smjeru.

Kod nekih kristalnih dioda pri određenom zapornom naponu struja naglo počne rasti. Slične pojave je još godine 1934. C. Zener protumačio, pa se napon pri kojem struja naglo poraste naziva Zenerov napon. Dioda kod kojih je ta pojava osobito izražena nazivaju se *Zenerove diode*. Karakteristika Zenerove diode je na sl. 4-6 označena sa *ZD*.

Kako se u Zenerovom području napon na diodi jedva malo mijenja kod promjene jakosti struje, Zenerove diode se upotrebljavaju kao stabilizatori napona. Zenerove diode izrađuju se od silicija i redovito primjenjuju samo u zapornom smjeru.

Jakim dotiranjem kristalnog p-n spoja dobio je Japanac L. Esaki (1957) diodu s karakteristikom *TD* (sl. 4-6). Uz određen napon, u propusnom smjeru, krivulja pada: jakost struje se smanjuje dok se napon povećava. Ta pojava je posljedica tzv. »tunelskog efekta«. On se sastoji u tome da se, u izvjesnim okolnostima, elektroni mogu izvanrednom brzinom provući kroz uzak zaporni sloj, kao kroz neki tunel. Zato se zovu »tunelske« diode. Ove diode ne pokazuju zaporno djelo-

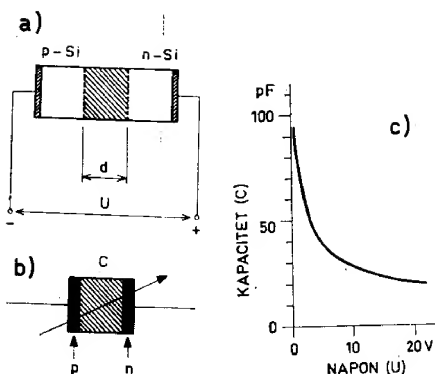


Sl. 4-6. Karakteristike kristalnih dioda, tj. krivulje koje pokazuju kako ovisi jakost struje o naponu: *GD* za germanijevu, *ZD* za Zenerovu i *TD* za Esaki-jevu »tunelsku« diodu

vanje, one vode i u jednom i u drugom smjeru. Ipak, onaj već spomenuti, padajući dio karakteristike našao je svoju primjenu. Unutar toga područja dioda ima *negativan* otpor i može se upotrebiti kao aktivni električni element u oscilatorima i pojačalima.

Varikap-dioda

Kristalnu diodu, kako znamo, čine dva tipa vodljivih kristala. Oni su odvojeni zapornim slojem koji je izolator. Prema tome je svaka kristalna dioda svojevrsan kondenzator (sl. 4-7a i b). Kapacitet pločastog kondenzatora ovisi o površini ploča i o udaljenosti između njih. Površina kristala je stalna ali se debljina zapornog sloja *d* mijenja, ovisno o visini zapornog napona. Prema tome kristalna dioda je neke vrste promjenljivi kondenzator kojemu se kapacitet može mijenjati promjenom napona! Dioda kod koje je ova pojava osobito izražena naziva se »varikap« dioda (engl.: *VAR*iable *CAP*acitor = promjenljivi kondenzator). Karakteristika jedne takve varikap-



Sl. 4-7 a) i b) Kristalna dioda ponaša se kao kondenzator kojemu kapacitet ovisi o širini d zapornog sloja. Ova širina ovisi o zapornom naponu; c) karakteristika jedne varikap-diode. Kapacitet C se smanjuje kada napon U raste

-dioda pokazuje ovisnost kapaciteta o naponu na diodi (sl. 4-7c).

U suvremenoj radio-tehnici varikap-diode sve više se upotrebljavaju. Promjena kapaciteta, a to npr. znači promjena frekvencije nekog titrajnog kruga ne mijenja se mehaničkim nego električnim pu-

tem, po potrebi i na daljinu. Promjenljivi kondenzator zamijenjen je diodom i potencijetrom!

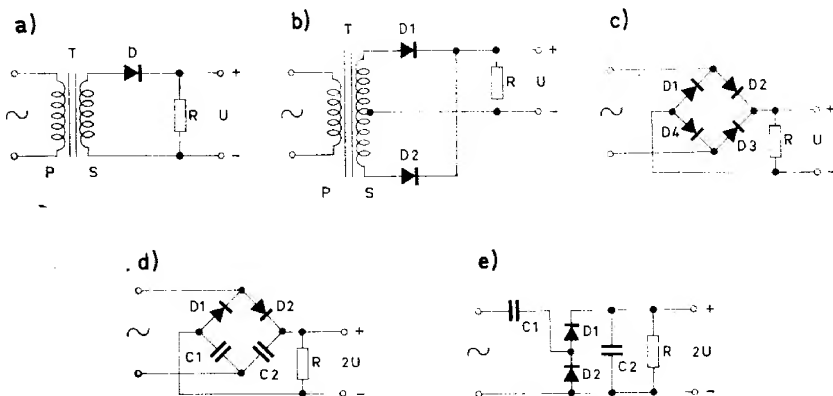
PIN-dioda

PIN-dioda ima između p-tipa i n-tipa kristala tanak sloj poluvodiča bez primjesa, pa nema slobodnih nosioca elektriciteta. Taj se sloj kao izolator označava sa I , pa od tuda i naziv diode $P-I-N$. PIN-dioda ima za VF struju u nepropusnom smjeru vrlo veliku impedanciju, a u propusnom smjeru joj je vodljivost ovisna o primjenjenom naponu. Zato se ta dioda upotrebljava u VF području kao sklopka ili kao modulator.

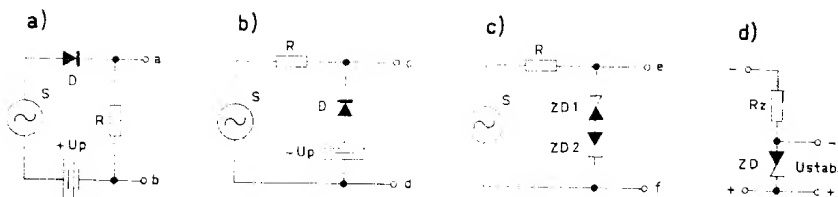
Primjene kristalnih dioda

Od mnogih različitih primjena kristalnih dioda ovdje se navodi samo nekoliko najvažnijih.

Prije svega, kristalne diode se upotrebljavaju kao električni ventili u svrhu ispravljanja izmjeničnih struja. Nekoliko principijelnih shema prikazuje sl. 4-8. U primjeru a) dioda D služi za poluvalno ispravljanje. Da se postigne punovalno ispravljanje, a to znači bolje



Sl. 4-8. Sklopovi za ispravljanje s diodama: a) poluvalno; b) punovalno ispravljanje; c) Graetz-ov ispravljač; d) Delon-Greinacher-ov sklop; e) Villard-ov »kaskadni« ispravljač



Sl. 4-9. Sklopovi za ograničenje amplitude diodama: a) serijski; b) paralelni sklop sa običnom diodom; c) s dvije Zenerove diode; d) stabilizator napona sa Zenerovom diodom također je neka vrsta sklopa za ograničenje amplitude

iskorištenje električne energije, treba upotrebiti dvostruki ispravljač: dvije diode i dvostruku sekundarnu zavojnicu transformatora, kako je pokazano u primjeru b). Punovalno ispravljanje može se postići i tako da se upotrebe četiri diode, spojene u poznati Graetz-ov ispravljač, pokazan na sl. 4-8c.

Ako se u ovom Graetz-ovom spoju diode D_3 i D_4 zamjene kondenzatorima (sl. 4-8d), na izlazu se dobije udvostručen napon. To je ispravljački sklop po Delonu i Greinacheru.

»Kaskadni« ili Villard-ov ispravljač za udvostručenje napona pokazan je na sl. 4-8e.

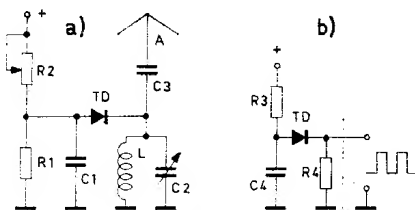
Kristalna dioda može poslužiti za ograničenje napona, kao i vakuumska dioda. Sklopovi za serijsko i paralelno ograničenje su na sl. 4-9a i b. I Zener-ova dioda može se upotrebiti za ograničenje, prema sl. 4-9c, ali se najčešće upotrebljava kao stabilizator napona. Osnovni spoj za stabilizaciju napona je na sl. 4-9d. U seriju s izvorom i Zenerovom diodom spojen je zaštitni otpornik, koji treba za svaki konkretni slučaj izračunati. Stabiliziran napon uzima se sa Zener-ove diode.

Tunelska dioda, radi pojave negativnog otpora u propusnom smjeru, može se upotrebiti kao pojačalo, ali se najčešće upotrebljava kao oscilator. Shema malog predajnika s tunelskom diodom je na sl. 4-10a.

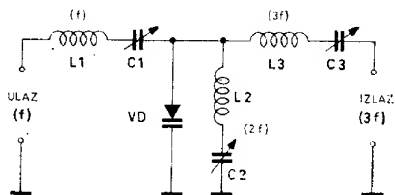
Frekvencija je određena titrajnim krugom LC . Pomoću promjenljivog otpornika R_2 dioda TD dovodi se u područje negativnog otpora.

Vrlo jednostavan generator pravokutnih impulsa s tunelskom diodom pokazan je na sl. 4-10b. Radni uvjeti diode određeni su otpornicima R_3 i R_4 , dok je frekvencija impulsa ovisna o vremenskoj konstanti R_4C_4 .

Varikap-dioda se, osim za promjenu kapaciteta električnim pu-



Sl. 4-10. a) Jednostavan oscilator s tunelskom diodom i titrajnim krugom; b) generator četvrtastih impulsa. TD = tunelska dioda



Sl. 4-11. Utrostručivanje frekvencije pomoću varikap-diode

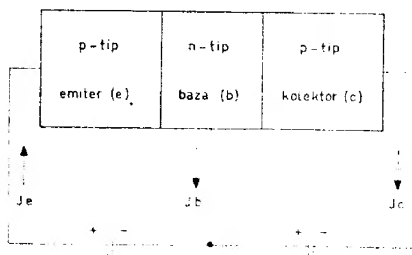
tem, vrlo često upotrebljava za umnažanje frekvencije. Utrošućenje frekvencije s varikap-diodom postiže se prema sl. 4-11. Specijalna varikap-dioda, tzv. »varaktor«, spojena je paralelno sa ulazom i sa izlazom. Titrajni krug L_1C_1 propušta samo osnovnu frekvenciju f . Na diodi, koja je nelinearni element, pojavljuje se cijeli spektar viših harmoničkih frekvencija. Paralelno diodi je spojen titrajni krug L_2C_2 koji kratko spaja struje druge harmoničke frekvencije. Titrajni krug L_3C_3 propušta samo treću harmoničku frekvenciju.

TRANZISTORI

Tranzistorima danas nazivamo nekoliko vrsta poluvodičkih elemenata.

Bipolarni tranzistori (»obični«) su tako nazvani jer u vođenju električne struje sudjeluju i pozitivni i negativni nosioci elektriciteta. U praksi se jednostavno nazivaju tranzistorima, bez bliže oznake.

Unipolarni tranzistori imaju ime prema tome što njihova vodljivost potječe samo od jedne vrste nosilaca elektriciteta. Nazivaju ih također tranzistorima s efektom polja ili skraćeno *FET* (prema engl. Field Effect Transistor).



Sl. 4-12. Shematski prikaz slojnog tranzistora i njegovih strujnih krugova. J_b = struja baze; J_e = struja emitera; J_c = struja kolektora.

Tranzistor je tipa P-N-P

Jednospojni tranzistori imaju samo jedan PN-spoj, ali dvije baze. Često ih označuju slovima *UJT* (Unijunction Transistor).

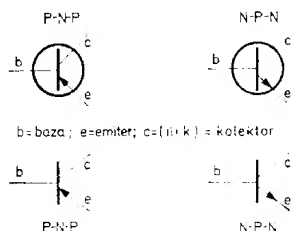
Bipolarni tranzistori

Običan, bipolarni tranzistor je poluvodički, elektronički element sastavljen od tri sloja kristala. Moguće su dve kombinacije poretka vodljivih slojeva: p-n-p ili n-p-n. Zato se govori o tranzistorima tipa P-N-P ili tipa N-P-N.

Tranzistor tipa P-N-P shematski je prikazan na sl. 4-12. Kod prvih tranzistora srednji sloj je bio osnovni kristal, pa se zato naziva baza tranzistora i označuje slovom *b*. Na osnovni kristal su sa svake strane nekim tehnološkim postupkom nanešeni slojevi drugog tipa kristala. Ti slojevi nazivaju se *emiter* (*e*) i *kolektor* (*c*).

Pojednostavljeno se može promatrati kao da je tranzistor sastavljen od dvije diode: »dioda« emiter-baza i »dioda« baza-kolektor, koje imaju jednu zajedničku elektrodu. Ovakvim pojednostavljenim promatranjem mogu se na vrlo jednostavan način rastumačiti neke osnovne pojave kod tranzistora, iako je mehanizam toka struje i pojava oko toga znatno složeniji.

Tranzistor se redovito spaja tako da je dioda emiter-baza spojena u



Sl. 4-13. Simboli za crtanje tranzistora. U gornjem redu vrijede za pojedinačne tranzistore tipa P-N-P i tipa N-P-N. U donjem redu su simboli za tranzistore koji pripadaju nekom integriranom sklopu

propusnom, a dioda baza-kolektor u nepropusnom smjeru. Po tome bi se očekivalo da u prvoj diodi teče struja, a u drugoj da ne teče. Tako bi i bilo kada bi se svaki od izvora posebno spojio. Međutim, ako su oba izvora struje istovremeno spojena, struja u krugu emitera *otvara* i kolektorsku diodu, iako je ona spojena u nepropusnom smjeru! *Male* promjene struje u krugu baze uzrokuju znatno *veće* promjene struje u krugu kolektora. Ova se pojava naziva *tranzistorski efekt*. On omogućuje primjenu tranzistora u pojačalima, oscilatorima, automatskim prekidačima itd.

Odnos promjena jakosti struje kolektora ΔJ_c i struje emitera ΔJ_e definira se kao *faktor strujnog pojačanja* tranzistora (u sklopovima sa zajedničkom bazom) i obično se označuje grčkim slovom α (»alfa«):

$$\alpha = \frac{\Delta J_c}{\Delta J_e}$$

uz stalan napon između kolektora i baze.

Faktor α redovito je manji od 1. Pojačanje tranzistora je to veće što je α bliže jedinici.

Tranzistor se najčešće upotrebljava u sklopovima kod kojih je emiter zajednički. Odnos promjene jakosti struje kolektora ΔJ_c i promjene jakosti struje baze ΔJ_b definira se kao *faktor strujnog pojačanja* tranzistora (u sklopovima sa zajedničkim emiterom) i bilježi se grčkim slovom β (»beta«):

$$\beta = \frac{\Delta J_c}{\Delta J_b}$$

uz stalan napon između kolektora i emitera.

Faktor β je redovito mnogo veći od 1 i, već prema konkretnom tranzistoru, iznosi nekoliko desetaka do nekoliko stotina. Faktori pojačanja α i β povezani su relacijom:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Što je α bliže jedinici, to je β veći.

Upoređujući dva aktivna elektronička elementa, triodu i tranzistor, mogu se postaviti analogije: emiter odgovara katodi, kolektor anodi, a baza mrežici. Snop elektrona između katode i anode regulira se naponom na mrežici, dok se kod tranzistora strujanje slobodnih nosilaca elektriciteta između emitera i kolektora u kristalu regulira strujom baze.

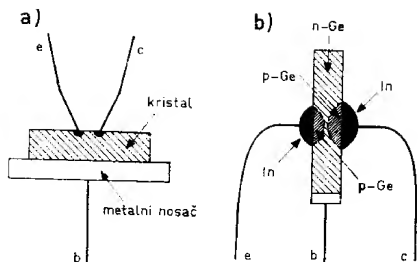
Analogija elektronske cijevi i tranzistora je, razumije se, samo formalna, s obzirom na primjenu, dok su fizikalni principi sasvim drugačiji. Kod tranzistora se strujom baze ne samo regulira nego i omogućuje tok električne struje između emitera i kolektora.

Tehnologija tranzistora

Tranzistori se izrađuju na nekoliko različitih načina. Prvi tranzistori su bili »tačkasti«, dok se danas izrađuju samo »slojni« tranzistori i to različitim tehnološkim postupcima.

Nekadašnji tačkasti tranzistor je shematski prikazan na sl. 4-14a. Na osnovni kristal, obično od n-tipa germanija koji je učvršćen na metalni nosač i koji će biti baza tranzistora, prislone se dvije tanke žice od izabranog materijala. Vrhovi žica su na kristalu razmaknuti svega nekoliko desetaka mikrona. Puštanjem impulsa jake struje žice se pritale na kristal. Na tim mjestima uđe nešto materijala žice u kristal i stvore se mala područja p-germanija. Tačkasti tranzistori imaju malo pojačanje, teško se proizvode ujednačeni, vrlo su osjetljivi i ne smiju se opteretiti većim snagama. Granična im je frekvencija bila dosta visoka, pa su se prije nekih 35 godina, još upotrebljavali u nekim VF primjenama.

Postupci za dobivanje slojnih tranzistora su legiranje, izvlačenje i difuzija.



Sl. 4-14. Prvi oblici tranzistora: a) sa šiljcima (»tačkasti«); b) legirani (»slojni« ili »spojni«) tranzistor

Na sl. 4-14b je shematski prikaz starijeg slojnog tranzistora koji je dobiven postupkom legiranja. Na osnovnoj pločici kristala n-tipa germanija stavljen je sa svake strane po zrnice indija. Sve se zagrije, indij se rastali i prodire u germanij. Tako se na tim mjestima dobije p-tip germanija. Na ostatak indija spoje se dovodne žice za emiter i kolektor, dok kristalna pločica služi kao baza. Ovako dobiveni tranzistor je tipa P-N-P.

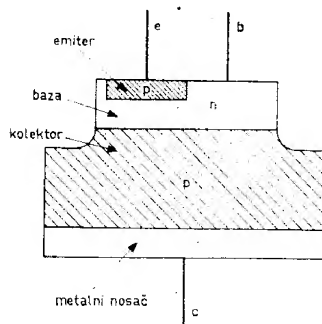
Izrada tranzistora izvlačenjem je vrlo skup i neprikladan postupak. Dotiranje se vrši dok je kristal još rastaljen, najprije donatorom da nastane n-tip kristala, a zatim akceptorom koji najprije neutralizira djelovanje donatora i onda stvara p-tip kristala. Kristal se polagano izvlači iz taline i tako se naizmjenice dobivaju n i p slojevi. Iz njih se izrezuju n-p-n kristali za N-P-N tranzistore. Debljina slojeva regulira se brzinom izvlačenja kristala a vodljivost slojeva količinom primjesa koji se dodaju talini.

Kod tehnološkog postupka difuzije, pločica osnovnog kristala izlaže se u inertoj atmosferi parama donatora ili akceptora. Nataloženi slojevi difuzijom prodiru u kristal i tamo mu određuju električna svojstva. Postupak se može vrlo dobro kontrolirati i zato je pogodan za industrijsku proizvodnju tranzistora.

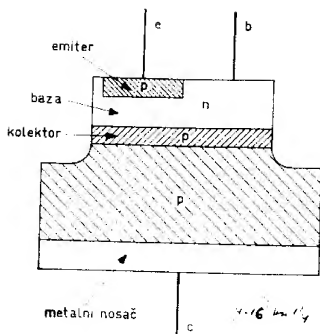
Složenijim tehnološkim postupcima danas se proizvode tranzistori pod nazivima: »mesa«, »epitaksijalni« i »planarni« tranzistori.

Mesa-tranzistor je shematski prikazan na sl. 4-15. Naziv je dobio od španjolske riječi »mesa« = stol. Osnovni kristal služi kao kolektor. Ako je to, npr. p-germanij, na njega se napari antimon ili arsen. Tako nastaje n-tip kristala, debljine oko 1 mikrometar (mikron). To je baza tranzistora. Na jednom dijelu baze se zatim napari aluminij i tako dobije sloj p-tipa za emiter. Izvod baze *b* i emitera *e* su blizu jedan drugome. Ostatak kristala oko baze i emitera se ukloni i tako se dobije karakterističan ravan oblik, »mesa«. Postupak se može vršiti istovremeno na većoj pločici kristala i tako se odjednom dobije velik broj tranzistora.

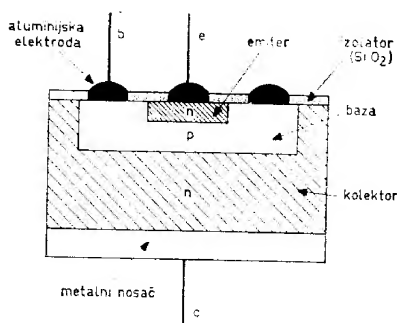
»Epitaksija« je u kristalografiji naziv za orijentirano srašćivanje kristala. Epitaksijalnim postupkom se na osnovni kristal nanese vrlo tanak sloj iste kristalne strukture, ali drugačije dotiran. Tako se dobije kolektor (sl. 4-16). Postupkom difuzije nanose se, kao i kod »mesa« postupka, baza i emiter. Geometrijski lik naparenih elektroda ima velik utjecaj na raspored električnih polja kod tranzistora. Da se postignu određena svojstva upotrebljavaju se najrazličitiji oblici baze i emi-



Sl. 4-15. Shematski prikaz mesa-tranzistora



Sl. 4-16. Epitaksijalni mesa-tranzistor



Sl. 4-17. Strukturna shema silicijevog planarnog tranzistora

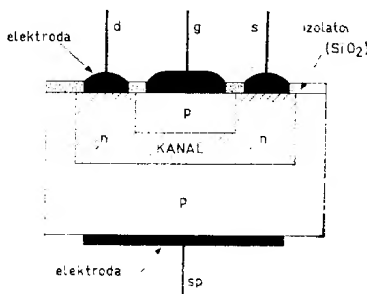
tera: pruge, prstenovi, »češljevi« i drugo.

Presjek strukture modernog planarnog tranzistora vidi se na sl. 4-17. Na osnovni se kristal silicija prvo nanese oksidni sloj (SiO_2), deo oko 1 mikrometar (mikron). Zatim se izjetkaju mjesta za bazu i emiter, koji se načine difuzijom. Na njih se spoje odvodne žice pomoću aluminijevih elektroda. Preko svega se opet nanese silicijev oksid (kvarc)! kao izolator i zaštitni sloj. Planarnim postupkom dobiju se tranzistori najboljih svojstava.

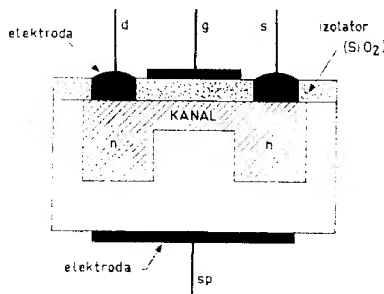
Sličnim postupcima proizvode se i kristalne diode, te ostali poluvodički elementi.

Tranzistori sa efektom polja (FET)

FET-ova ima više vrsta, ali svima je zajedničko postojanje određenog *kanala* u poluvodiču kojim teče električna struja. Na struju u tom kanalu može se kod FET-a dje lovati *električnim poljem*, dakle *naponom* koji se dovodi na posebnu upravljačku elektrodu. Kroz nju *ne teče* struja. Kroz sam kanal mogu teći elektroni (n-kanal) ili šupljine (p-kanal). Upravljačka elektroda svojim električnim poljem smanjuje širinu kanala i tako djeluje na jakost struje. Po tome je FET znatno sličniji elektronskoj cijevi (triodi) nego »običnim« tranzistorima (sl. 4-18).



Sl. 4-18. Tranzistor sa efektom polja (FET) kod kojega su »vrata« g, (gejt-elektroda), pritaljena na prepraviranu silicijevu pločicu (»JFET«)



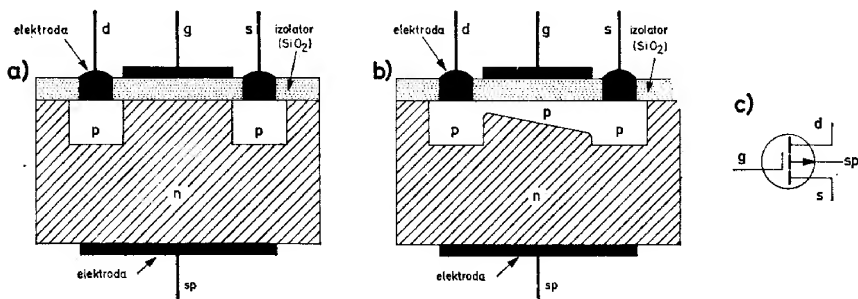
Sl. 4-19. Shematski prikaz FET-a sa izoliranim »vratima« (»IGFET« ili »MOSFET«)

Ulazna elektroda »kanala« naziva se »izvor« ili surs-elektroda (engl.: »source« = izvor) i bilježi se slovom *s*. Izlazna elektroda (*d*) je »odvod« ili drejn-elektroda (engl.: »drain« = odvod). Upravljačka elektroda (*g*) naziva se »vrata« ili gejt-elektroda (engl.: »gate« = vrata).

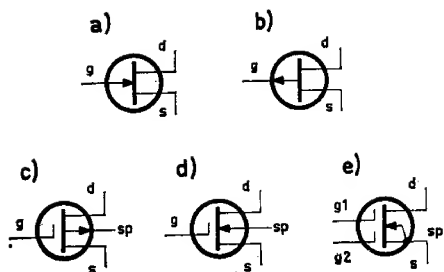
I karakteristike FET-a su po svom obliku slične odgovarajućim karakteristikama triode. »Izvor« je elektroda koja odgovara katodi, »odvod« odgovara anodi, dok »vrata« odgovaraju mrežici.

Na sl. 4-18 je upravljačka elektroda (vrata, gejt) načinjena od p-tipa kristala, kao i »supstrat« (*sp*), tj. kristalna pločica. Obje zone p-tipa priključene su na *zaporni* napon, pa struja ne može teći od njih u »kanal«. To znači da je kod FET-a koji ima n-kanal *prednapon* na gejt-elektrodi također negativan.

Za razliku od ove vrste FET-a kod kojih je upravljačka elektroda srasla s kristalom poluvodiča (»Junction FET«, »JFET«), postoje i takvi FET-ovi kod kojih je upravljačka elektroda izolirana (»IGFET« ili »MOSFET«), od kojih je jedan shematski prikazan na sl. 4-19. FET-ovi se izrađuju tehnološkim postupcima koji su uglavnom slični onima za proizvodnju planarnih tranzistora.



Sl. 4-21. MOS-FET sa formiranjem vodljivog kanala »obogaćivanjem« (enhancement): a) bez »prednapona« nema vodljivog kanala između elektroda »s« (»izvor«, surs) i »d« (»odvod«, drejn); b) negativni električni naboj na elektrodi »g« (»vrata«, gejt) utječe na stvaranje p-kanala; c) crtački simbol za ovu vrstu FET-a. Vidi tekst



Sl. 4-20. Simboli za FET-ove: a) FET sa n-kanalom; b) FET sa p-kanalom; c) FET sa izoliranim »vratima« (IGFET ili MOSFET) i p-kanalom; d) IGFET sa n-kanalom; e) MOSFET s dvojnim, izoliranim »vratima« *g*₁ i *g*₂, uz kanal n-tipa

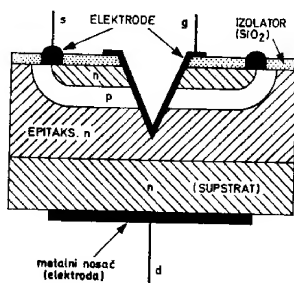
Ulazni otpor FET-a s izoliranim »vratima« je vrlo velik, preko 10^{12} oma, pa se može pobuđivati bez utroška električne energije, kao i elektronska cijev.

Na sl. 4-20 su prikazani crtački simboli za FET-ove. Svim ovim tranzistorima zajednička je pojava da količina nosilaca električnog naboja, prisutnih u »kanalu« s povećanjem prednapona, postaje sve manja. Kažemo da kanal »osiromašuje« (engl. depletion mode IGFET).

Ima i takvih FET-ova, kod kojih se događa suprotno! Na shemi, sl. 4-21, prikazan je takav FET.

Kako se vidi na sl. 4-21a, vodljivi kanal nije bio načinjen. U ovom FET-u takav kanal će se pojaviti tek onda, kada gej-t-elektroda g dobije negativan prednapon. On će odbojnim silama svog električnog polja potisnuti elektrone u dubinu n-sloja, kao na sl. 4-21b. Tanak sloj poluvodiča je tako »obogaćen« pozitivnim nosiocima; formiran je p-kanal (engl. enhancement mode IGFET). Crtaju se u shemama prema sl. 4-21c. Vertikalna deblja linija nije nacrtana čitava, već s prekidima. Ima, dakako i takvih FET-ova kod kojih na sličan način (»obogaćivanjem«) nastaje n-kanal, ali onda je strelica u crtačkom simbolu okrenuta na drugu stranu. Priključak supstrata sp je najčešće spojen sa »surs-elektrodom« s.

Pod imenom »snažni FET«, »vertikalni FET« i »VMOS-FET« nastavljen je razvijanje ove vrlo poželjne vrste tranzistora. Sl. 4-22 pokazuje kako su u takvom VMOS-tranzistoru raspoređeni pojedini slojevi i njegove elektrode. Surs-elektroda (»izvor«) s je na onoj strani gdje se nalazi i upravljačka elektroda g. Ona je načinjena tako da seže u dubinu kroz nekoliko slojeva, kao slovo V. Otuda ime ovih FET-ova. Drejn-elektroda (»odvod«) je na suprotnoj strani, tamo gdje je kod drugih FET-ova supstrat. Ova elek-



Sl. 4-22. Shematski prikaz presjeka kroz poluvodičke slojeve najnovijih tranzistora tipa VMOS-FET. Vidi tekst

troda je u čvrstoj vezi sa limenim kućištem, pa je odvođenje topline znatno poboljšano. Pažljivom čitaatelju nije izbjeglo da kroz VMOS-FET električna struja teče »vertikalno«, tj. kroz sve slojeve!

VMOS-FET podnosi razmjerno veća opterećenja. Ima ih za niske kao i za vrlo visoke frekvencije.

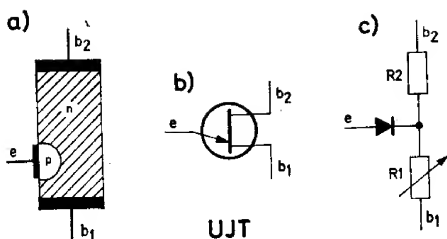
Pri rukovanju s FET-om treba biti vrlo pažljiv. Probojni napon između »kanala« i »vrata« je nizak, kod današnjih FET-ova oko 18 V. I kapacitet »kondenzatora« »vrata-kanal« je malen, pa je količina elektriciteta koja se donese samo dodirnom prsta dovoljna da napon na tom »kondenzatoru« pređe vrijednost probojnog napona i time je FET uništen. Zato se FET redovito isporučuje s kratko spojenim elektrodama. Taj se spoj otklanja tek onda kada je FET ugrađen u uređaj. FET se lemi s uzemljenim lemilom i pridržava uzemljenom pincetom!

Danas ima i takvih MOSFETA kod kojih su »vrata« zaštićena ugrađenim Zenerovim diodama (npr. »3N200« i slični).

Jednospojni tranzistor (UJT)

Jednospojni tranzistor ili UJT (prema engl. *unijunction-transistor*) je poluvodički element koji se sastoji od jednog n-sloja na kojemu su dva priključka, prva baza b_1 i druga baza b_2 , a u njega je umetnut p-sloj nazvan emiter e . Njegov je shematski prikaz na sl. 4-23. U takvom se elementu ne očituje opisani tranzistorski efekt, pa ga zato nazivaju i dioda sa dvije baze.

Zatvaranjem strujnog kruga preko baze, tako da je b_1 pozitivna, teče kroz UJT neka slaba struja mirovanja. Ako se dioda $e-b_1$ polarizira izvana u propusnom smjeru, ubačeni nosioci naboja jako smanjuju otpor između b_1 i emitera. Takav se element može predočiti



Sl. 4-23. »Jednospojni« tranzistor ili UJT (engl. Unijunction, čit. »junidžankšn«): a) dvije baze UJT-a i njegov emiter (e) načinjen difuzijom u poluvodički kristal; b) simbol za crtanje i c) približna nadomjesna shema UJT-a

nadomjesnom shemom na sl. 4-23c, u kojoj se otpor R_1 mijenja naponom između emitera i baze b_1 . Ta je promjena skokovita, pa se jednospojni tranzistor upotrebljava kao prekidački element. U radio-tehničkim sklopovima se rijetko upotrebljava.

Tiristor

Tiristor ili SCR (engl. *Silicon Controlled Rectifier*), je poluvodički element koji se sastoji od četiri sloja poluvodičkog kristala, u poretku PNPN, pa se može predložiti kao dva tranzistora PNP tipa i NPN tipa s dva zajednička sloja. Iz tiristora izlaze tri izvoda, koji se zovu katoda, »gejt« i anoda.

Malim porastom struje kroz »gejt«, naglo poraste struja anode. Na nju se onda više ne može utjecati preko upravljačke elektrode. Tiristor se upotrebljava kao sklopka za vrlo jake struje.

Trijak je sličan element, namjenjen upravljanju izmjeničnim strujama. Može se predložiti kao antiparalelni spoj dvaju tiristora.

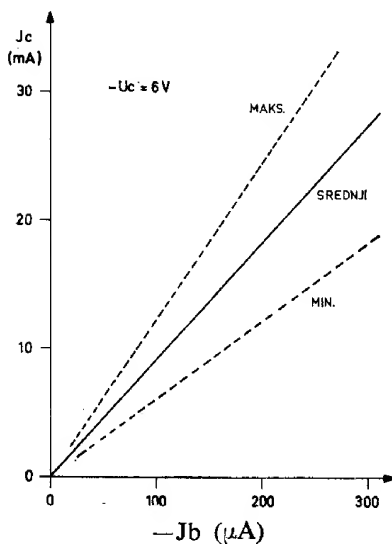
I tiristor i trijak se rijetko upotrebljavaju u radio-tehničkim sklopovima. Ipak ćemo ih naći u nekoliko primjena i u ovoj knjizi.

Karakteristike tranzistora

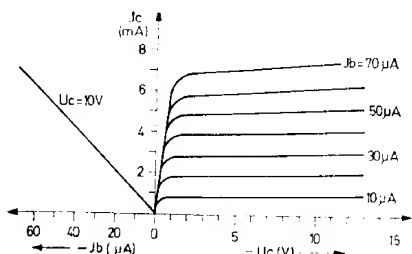
Osnovni podatak koji karakterizira bipolarni tranzistor je tip tranzistora, P-N-P ili N-P-N. Slijedeći važni podaci su faktori strujnog pojačanja α i β . Svi parametri tranzistora ovisni su o naponu i jakosti struje kolektora, pa su prema tome promjenljive veličine.

Ovisnost struje kolektora I_c o struji baze I_b za neki tranzistor i za određen napon kolektora (u sklopu zajedničkog emitera) pokazuje sl. 4-24. Karakteristike pojedinih primjeraka tranzistora, označenih kao istovrsni, odstupaju i do 50%. Oznake »MAKS« i »MIN« pripadaju graničnim karakteristikama za tranzistore koji su jednako označeni.

Karakteristike tranzistora najčešće prikazuju ovisnost jakosti struje kolektora I_c o naponu U_c kolektora za različite jakosti struje



Sl. 4-24. Karakteristika tranzistora koja pokazuje ovisnost jakosti struje kolektora I_c o struji baze I_b za stalan napon kolektora U_c . Tranzistor je u sklopu »zajedničkog emitera«

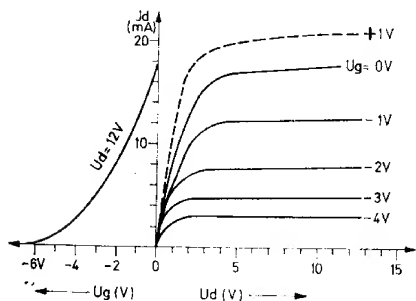


Sl. 4-25. Karakteristike bipolarnog tranzistora. Krivulje pokazuju ovisnost kolektorske struje (I_c) o struji baze (I_b) i o naponu između kolektora i emitera (U_c)

baze I_b , sl. 4-25. Ta se ovisnost naglo mijenja za niske napone kolektora, dok već iznad nekoliko desetinki volta ostaje skoro konstantna. Jakost struje kolektora ovisi još samo o struji baze. Uz povećanje kolektorskog napona, jakost struje I_c se ne mijenja.

Faktor strujnog pojačanja β očita se iz dijagrama vrlo jednostavno. Povučete se paralelna linija s osi ordinata za neki konkretan napon kolektora i očita se kolika promjena struje kolektora odgovara nekoj promjeni struje baze.

Za praktičnu upotrebu obično se navodi samo faktor strujnog pojačanja β .



Sl. 4-26. Karakteristike FET-a. One pokazuju kako struja drejn-elektrode (I_d) ovisi o prednaponu na gejtu (U_g) i o naponu između drejn- i surs-elektrode (U_d)

Karakteristike FET-a

U FET-ovima se, električnom strujom koja teče između surs-elektrode (»izvora«) i drejn-elektrode (»odvoda«), obično upravlja promjenama »prednapona«, tj. napona koji vlada između surs-elektrode i gejta (»vrata«). To je slično kao kod triode: anodnom strujom se upravlja promjenama napona između katode i mrežice. Zato se karakteristike FET-a mogu definirati na sličan način.

Na sl. 4-26 je izgled krivulja koje pokazuju kako struja »odvoda« (I_d) zavisi o prednaponu na »vratima« (U_g), kao i o naponu između »izvora« i »odvoda« (U_d). Lijeva krivulja je I_d/U_g karakteristika, dok je na desnoj strani slike skup karakterističnih krivulja koje pokazuju ovisnost struje I_d o naponu U_d , kao i o U_g . Oblik tih krivulja ostaje isti i onda, kad je napon U_g pozitivan.

I kod FET-a se može definirati pojam »strmine« kao odnos promjena struje »odvoda« (ΔI_d) i promjene napona na »vratima« (ΔU_d):

$$S = \frac{\Delta I_d}{\Delta U_g}$$

I po drugim odgovarajućim parametrima FET je poluvodička analogija elektronske cijevi, triode.

Zajednička elektroda

Tranzistor ima tri elektrode pa jedna od njih uvijek mora biti zajednička ulaznom i izlaznom strujnom krugu.

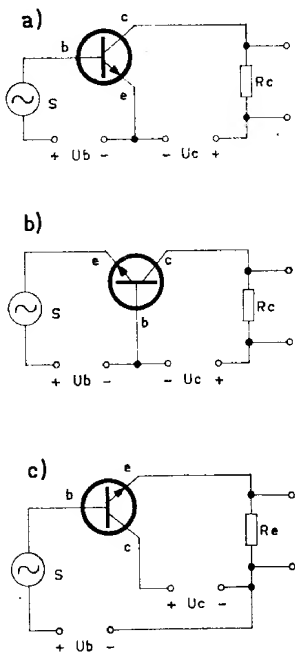
Sklopovi u kojima se tranzistor upotrebljava tako da je *emiter* zajednička elektroda nazivaju se »*emitorski sklopovi*« (sl. 4-27a). Oni se najviše upotrebljavaju. Emitorski sklop odgovara normalnoj upotrebi triode kod koje je katoda zajednička (često još i uzemljena) elektroda.

Kod tranzistora koji rade u emitorskom sklopu, kolektorskom stru-

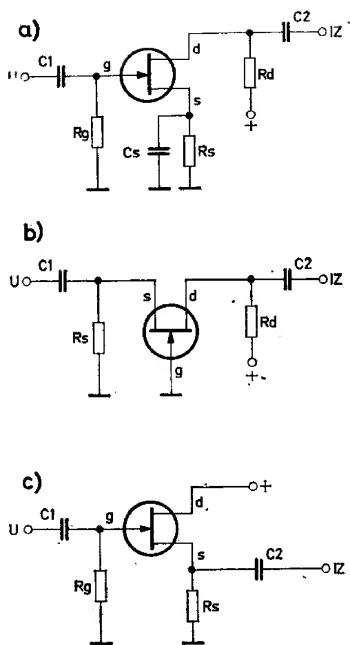
jom upravlja se preko baze. Pojačanje snage veoma je veliko, do nekih 40 dB. Zbog relativno male razlike ulazne i izlazne impedancije olakšano je prilagođenje između većeg broja stupnjeva u pojačalima.

Na sl. 4-27b zajednička je baza. Sklopovi u kojima je tranzistor upotrebljen sa zajedničkom bazom odgovaraju sklopovima sa zajedničkom mrežicom kod triode. Kod ovih »sklopova baze« ulazna impedancija je malena (oko 100 Ω) dok je izlazna impedancija velika (viša od 100 k Ω). Pojačanje snage može doseći oko 20 dB, uz uvjet da se ulaz dobro prilagodi izvoru signala, a izlaz potrošaču.

Kod »kolektorskih sklopova« zajednička elektroda je kolektor. Oni odgovaraju sklopovima kod kojih



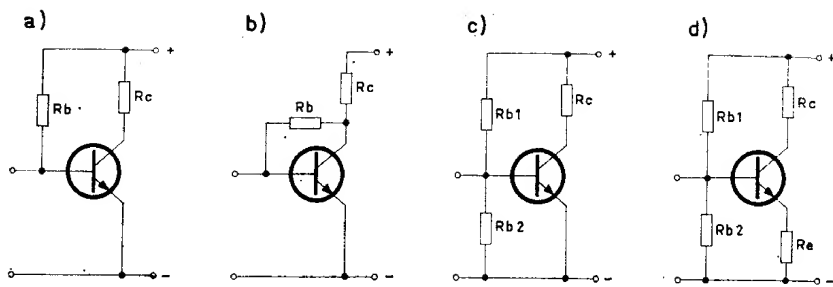
Sl. 4-27. Osnovni sklopovi tranzistora: a) sa zajedničkim emiterom; b) sa zajedničkom bazom; c) sa zajedničkim kolektorom. S = izvor »signala«. Ostala objašnjenja u tekstu



Sl. 4-28. Osnovni sklopovi za FET: a) sa zajedničkim izvorom (surs); b) sa zajedničkim vratima (gejt); sa zajedničkim odvodom (drejn)

je anoda triode zajednička elektroda. Ulazna impedancija je velika (50 k Ω do preko 500 k Ω). Izlazna impedancija je vrlo malena (500 Ω i manje), slično kao kod katodnog slijedila (»Cathode Follower«) sa triodom. Zato se za sklop sa zajedničkim kolektorom nekada kaže da je to »emitorsko slijedilo« (»Emitter Follower«). I ovdje je naponsko pojačanje malo manje od jedinice.

Osnovni sklopovi za upotrebu FET-a u pojačalima prikazani su na sl. 4-28. U sklopu, sl. 4-28a, zajednički je »izvor« (s), na sl. 4-28b je zajednička elektroda g, »vrata«, dok sl. 4-28c prikazuje »izvorsko slijedilo« (Source Follower) sa zajedničkim »odvodom« (d). Prvi i posljednji od ovih sklopova imaju velik ulazni otpor, dok je preostalom sklopu ulazni otpor (impedancija) malen.



Sl. 4-29. Sredstva za odabiranje i stabilizaciju radne tačke tranzistora (vidi tekst)

Stabilizacija radne tačke

Karakteristike bipolarnih tranzistora ovise o promjenama temperature. Kako kroz tranzistor stalno prolazi struja, on se zagrijava. U blizini su obično i drugi elementi uređaja, koji se također zagrijavaju. Da se spriječi nepotrebno zagrijavanje, tranzistorske struje ne smiju biti jače nego je to potrebno. Osim toga u blizini tranzistora ne treba stavljati druge sastavne dijelove koji se griju. Kojiput ovo nije dovoljno pa treba radnu tačku tranzistora stabilizirati na poseban način.

Najjednostavniji način odabiranja radne tačke je preko posebnog otpornika baze, R_b (sl. 4-29a). Radna tačka u ovom spoju je kod promjene temperature nestabilna. U praksi se zato ovakav način uglavnom ne upotrebljava.

Otpornik baze R_b može se spojiti direktno na kolektor (sl. 4-29b). Na ovaj se način postiže stabilizacija radne tačke negativnom naponskom povratnom vezom. Ova djeluje i na izmjenični napon signala pa se smanjuje pojačanje.

Naičešće se upotrebljava razdjelnik napona (sl. 4-29c). Njega čine otpornici R_{b1} i R_{b2} . Ovim se načinom postiže oko tri puta bolja stabilizacija. U praksi je R_{b1} oko 10 puta veći od R_{b2} , dok je radni otpornik kolektora R_c nešto manji od R_{b2} .

Otpornikom u strujnom krugu emitera postiže se negativna po-

vratna veza koja osigurava još bolju stabilnost radne tačke tranzistora (sl. 4-29d). Smanjenjem pojačanja od kojega bi došlo uslijed negativne povratne veze sprečava se dodavanjem elektrolitskog kondenzatora paralelno emitterskom otporniku. Za NF pojačalo on iznosi 10 do 100 μF , dok je u VF pojačalima dovoljno oko 0,1 μF ili manje.

Za stabilizaciju radne tačke tranzistora upotrebljavaju se i otpornici s negativnim temperaturnim koeficijentom, tzv. NTC-otpornici. NTC-otpornik upotrebljava se kao dio razdjelnika napona (sl. 4-30a). Ispravnom kombinacijom vrijednosti NTC-otpornika R i otpornika R_2 može se postići skoro potpuna stabilizacija.

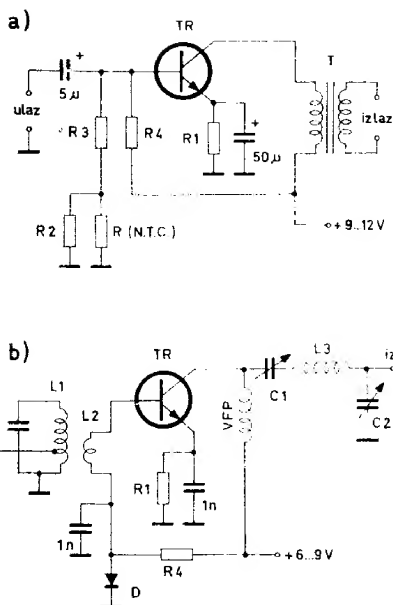
Vrlo dobra temperaturna stabilizacija postiže se stavljanjem kristalne diode D u razdjelnik napona (sl. 4-30b). Kristalna dioda mora biti načinjena od iste vrste kristala kao i tranzistor, da temperatura ovisnost promjena električne vodljivosti bude podjednaka.

Stupanj stabilizacije izražava se tzv. faktorom stabilizacije, koji je definiran kao odnos promjena jakosti struje kolektora u stabiliziranom i nestabiliziranom sklopu:

$$K = \frac{\Delta J_c (\text{stab})}{\Delta J_c (\text{nestab})}$$

za istu promjenu temperature.

Ako stabilizacije nema, $K = 1$. Kod stabilizacije je $K < 1$. Što je



Sl. 4-30. Temperaturna stabilizacija tranzistora: a) otpornikom R koji ima negativan temperaturni koeficijent (NTC); b) kristalnom diodom D . Ako je tranzistor TR silicijev mora i dioda biti silicijeva. Uz germanijev tranzistor mora se upotrebiti i germanijeva dioda

faktor stabilizacije manji, stabilizacija je bolja, npr. $K = 0,05$ znači da je promjena struje kolektora 5%, odnosno 20 puta manja sa određenom stabilizacijom nego bez nje kod iste razlike temperatura.

PRIMJENA TRANZISTORA

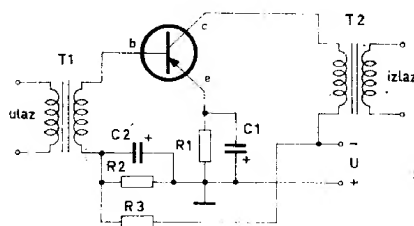
Pojačala s tranzistorima

Tipično transformatorsko pojačalo s tranzistorom prikazuje sl. 4-31. Pojačalo je s prethodnim i slijedećim stupnjem vezano preko transformatora T_1 i T_2 . Kod NF pojačala to su NF transformatori, kod VF pojačala to su titrajni krušovi ili MF transformatori. Prednapon za bazu dobije se potencijematski,

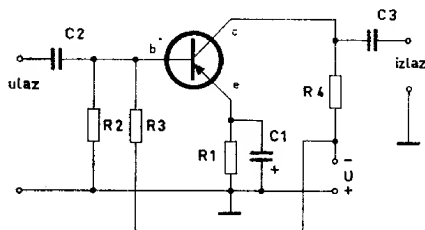
pomoću otpornika R_2 i R_3 iz izvora struje napajanja. Prednapon baze i ulazni signal su spojeni serijski. Jedan kraj sekundarne zavojnice ulaznog transformatora T_1 uzemljen je za izmjenične struje kondenzatorom C_2 . Zajednička elektroda je emiter.

Na sl. 4-32 je shema tzv. otpornog pojačala s tranzistorom. Opet je emiter zajednička elektroda. Veza sa prethodnim i slijedećim stupnjem je kapacitivna, s kondenzatorima C_2 i C_3 . Prednapon za bazu dobije se potencijematski. Ulazni signal dolazi paralelno s otpornikom R_2 .

Kod oba pojačala stabilizacija radne tačke je postignuta kombi-



Sl. 4-31. Tranzistorsko pojačalo sa ulaznim (T_1) i izlaznim (T_2) transformatorom. Emitterski otpornik R_1 i razdjelnik napona R_2/R_3 određuju radnu tačku tranzistora. C_1 i C_2 su elektrolitski kondenzatori velikog kapaciteta



Sl. 4-32. Tranzistorsko pojačalo koje je s prethodnim stupnjem spojeno preko kondenzatora C_2 . Sa slijedećim stupnjem spojeno je preko kondenzatora C_3 . Prvi je ulazni a drugi izlazni kondenzator tzv. RC-pojačala

nacijom emitorskog otpornika R_1 i razdjelnika napona (R_2/R_3) za pred-napon baze.

Na sl. 4-28a bila je shema slič-nog pojačala s FET-om.

Tranzistorski oscilatori

Tranzistorski oscilatori mogu se načiniti na više načina. Pri tome se ne smije zaboraviti da su para-metri tranzistora jako ovisni o frekvenciji. Svojstva tranzistora na viso-kim frekvencijama znatno se razli-kuju od onih na nižim frekvencija-ma. Svi parametri tranzistora su na visokim frekvencijama kom-pleksne veličine. Sve jači utjecaj imaju unutrašnji kapacitet i induk-tiviteti koji uzrokuju pomake u fazi među strujama i naponima.

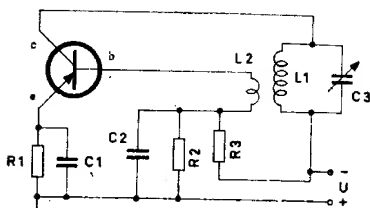
Tranzistori su u radu jače ovisni o promjeni temperature nego cijevi pa se kod tranzistorskih oscilatora mora provesti što bolja stabiliza-cija.

Snaga oscilacija opada s pora-stom frekvencije. Kao granična frekvencija navodi se ona kod koje strujno pojačanje padne na jedi-nicu. To opadanje je naglo, tako da poslije granične frekvencije tran-zistor jednostavno »neće« da oscilira.

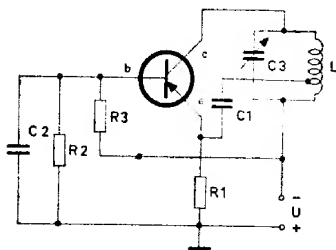
Slijedeći primjeri pokazuju she-me oscilatora koji odgovaraju tipič-nim oscilatorima sa elektronskim cijevima, ali je moguće i cijeli niz drugih kombinacija.

Sl. 4-33 pokazuje oscilator s in-duktivnom povratnom vezom. To je Meissner-ov oscilator u tranzistor-skoj izvedbi, koji se od originalnog oscilatora s elektronskom cijevi raz-likuje po dobivanju prednapona i po dodatnoj stabilizaciji emiter-skim otpornikom.

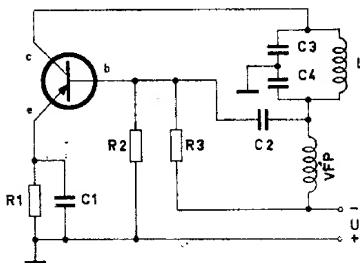
Na sl. 4-34 je tranzistorski osci-lator u Hartley-evom spoju, a na sl. 4-35 oscilator u Colpitts-ovom spoju. Sva se tri prikazana oscila-tora napajaju serijski. Uz male pre-inake moguće ih je i paralelno na-pajati.



Sl. 4-33. »Meissner-ov« oscilator s tranzistorom



Sl. 4-34. »Hartley-ev« tranzistorski oscilator

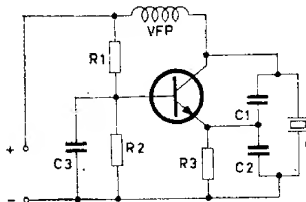


Sl. 4-35. Tranzistorski oscilator koji odgovara Colpitts-ovom oscilatoru

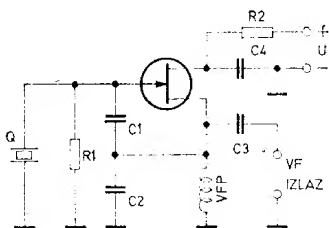
Tranzistorski oscilatori s krista-lom daju vrlo stabilne VF signale. Oscilator s kristalom, koji je za-pravo varijanta Colpitts-ovog osci-latora pokazan je na sl. 4-36. Kri-stalni oscilatori s tranzistorom mo-gu se načiniti na mnogo načina. Na sl. 4-37 je sličan oscilator sa FET-om.

Pomoću tranzistora mogu se na-činiti i generatori signala kao što su četvrtasti, pilasti, itd., pa tran-zistor ima veliku primjenu u impul-snoj tehnici. Za ilustraciju je na

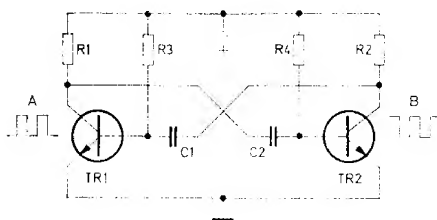
sl. 4-38 shema astabilnog multivibratora sa tranzistorima. Astabilni multivibrator je izvor četvrtastih impulsa koji se uzimaju s jednog ili s drugog kolektora. Ako je multivibrator načinjen simetrično impulsi A i B su također simetrični, ali faze su im suprotne.



Sl. 4-36. Tranzistorski »Colpitts-ov« oscilator s kvarcovim kristalom



Sl. 4-37. Kristalni oscilator s FET-om. I to je varijanta oscilatorskog principa prema Colpitts-u



Sl. 4-38. Astabilni multivibrator s tranzistorima

Odnos tranzistora prema polaritetu izvora struje napajanja

Kod elektronskih cijevi polaritet izvora struje napajanja je uvijek takav da je anoda pozitivna a ka-

toda negativna. Osim toga je negativni pol izvora anodne struje skoro uvijek spojen sa šasijom i uzemljen. Kod tranzistora nije tako. Ko-
lektor, koji inače odgovara anodi elektronske cijevi, može biti spojen sa pozitivnim polom izvora struje samo onda ako je tranzistor tipa N-P-N. Tada je emiter, koji odgovara katodi, spojen na negativni pol izvora struje napajanja. Ako je tranzistor tipa P-N-P, polariteti moraju biti obrnuti! Kolektor mora biti spojen s negativnim a emiter s pozitivnim polom.

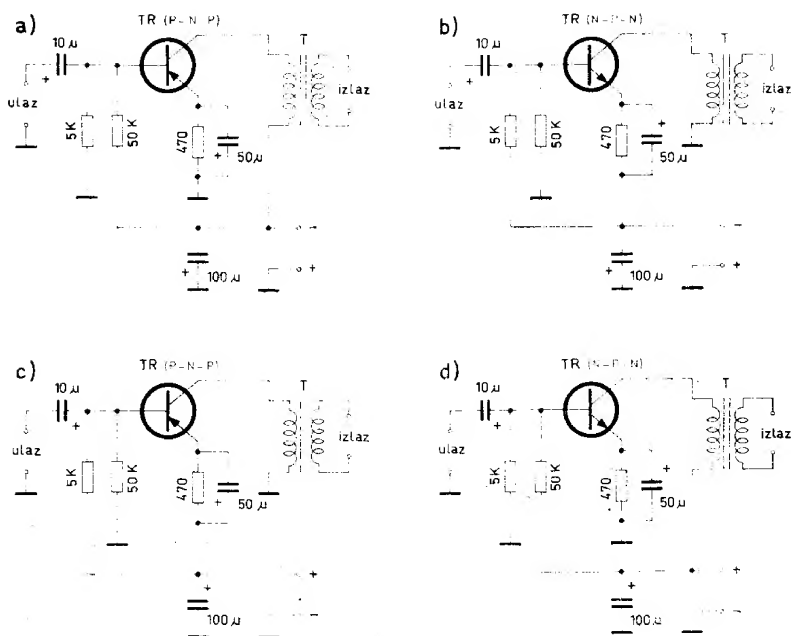
Ima tranzistorskih uređaja kod kojih je, bez obzira na tip tranzistora, »uzemljen« (sa šasijom spojen) pozitivni pol, ali i takvih kod kojih je »uzemljen« negativni pol izvora struje.

Tranzistori, prema tome, omogućuju različite kombinacije, od kojih su četiri tipične na sl. 4-39. Nacrtane su sheme istog niskofrekventnog pojačala, dva puta s tranzistorom P-N-P (sl. 4-32a i c) kao i dva puta s tranzistorom N-P-N (sl. 4-39b i d). Pri tome je na sl. 4-39a i b uzemljen *pozitivan*, a na sl. 4-39c i d *negativan* pol izvora električne energije.

Prema ovim uzorcima se vidi da je u istom uređaju moguće zajedno upotrebiti tranzistore tipa P-N-P i tipa N-P-N. Razumije se, pri tome je potrebno raditi promišljeno i pažljivo, jer krivi polaritet većinom uzrokuje uništenje tranzistora.

Preostali poluvodički proizvodi za radio-tehniku i elektroniku

Od poluvodičkih proizvoda za radio-tehniku i elektroniku spomenut ćemo svijetleće diode, foto-otpornike, foto-diode, foto-tranzistore, foto-elemente i sunčane baterije, numeričke i »alfa-numeričke« pokazivače (»displejek«). O nekima od njih će biti govora na onim mjestima u ovoj knjizi, gdje bude riječi o njihovoj primjeni.



Sl. 4-39. Tranzistorska pojačala sa različitim polaritetima izvora električne struje (baterije) za napajanje: a) i b) za uzemljen pozitivni pol kod P-N-P i kod N-P-N tranzistora; c) i d) za uzemljen negativni pol kod P-N-P i kod N-P-N tranzistora

Najznačajniji proizvodi električne industrije danas su, nesumnjivo, različiti integrirani poluvo-

dički sklopovi (integralna kola). O njima se govori u slijedećem poglavlju.

INTEGRIRANI SKLOPOVI

Tehnologija poluvodiča napredovala je toliko da se danas cijeli sklopovi, koji mogu sadržavati i nekoliko tisuća tranzistora, dioda i otpornika, mogu izraditi »integrirano«, na istoj pločici poluvodičkog kristala.

Izrada integriranih sklopova (integriranih kola) vrlo je složena, ali praktična primjena im je jednostavna. Radio-aparati, televizori i različiti elektronički uređaji postali su manji i pouzdaniji u radu. Njihovo servisiranje je također znatno olakšano.

Integrirani sklopovi našli su primjenu prvenstveno u industriji, ali ih sve više koriste i amateri pri gradnji svojih uređaja. Nekoliko takvih primjena opisano je i u ovoj knjizi.

Od prvih pokušaja, kada je 1959. u Americi napravljen integrirani sklop na pločici germanija, proizvedeno je do danas bezbroj tipova integriranih sklopova za najraznoličnije namjene. U početku je svaki proizvođač izrađivao svoje tipove, ali su vremenom neki sklopovi ili »familije sklopova« tipizirani. Danas mnoge tvornice proizvode sklopove pod sličnim oznakama tako da su slični ili čak potpuno jednaki i po svojim karakteristikama. Takvi se međusobno mogu bez ikakvih poteškoća zamijeniti i upotrebljavati u istom uređaju.

Tokom godina došlo je i do podjele integriranih sklopova prema namjeni. Dijelimo ih na *analogne* (linearne) i *digitalne* (impulsne) sklopove. Prema tehnologiji izrade ti se sklopovi mogu podijeliti na:

a) monolitne bipolarne,

b) monolitne unipolarne (MOS),
te

c) hibridne integrirane sklopove.

U praksi su česte i kombinacije, npr. kod tzv. BI-FET operacijskih pojačala gdje su ulazni tranzistori tipa FET, a ostali su bipolarni.

LINEARNI INTEGRIRANI SKLOPOVI

Ako promjenu neke ulazne električne veličine sklop slijedi *analognom* (= odgovarajućom, sličnom) promjenom takve veličine na svom izlazu, riječ je o analognom sklopu. Ako su promjene jedna o drugoj linearno ovisne (a ne po nekom logaritmičkom ili eksponencijalnom zakonu), radi se o *linearnom sklopu*. Linearni sklop je, prema tome, poseban slučaj analognog sklopa. Ipak, većina proizvođača poluvodiča na svoje kataloge stavljaju naslov »linearni« i onda kad se u njima mogu naći i sklopovi kojima bi više odgovarao termin »analogni«. U ovoj knjizi ćemo zato ovu vrstu nazivati »linearni integrirani sklopovi« (kraće: »LIS«).

Uobičajeno je također da se, pre glednosti radi, linearni integrirani sklopovi razvrstaju u grupe ili »familije«, npr:

a) operacijska pojačala,

b) komparatori,

c) niskofrekventna pojačala,

d) visokofrekventna i širokopojasna pojačala,

e) modulatori, demodulatori i mješači,

- f) generatori funkcija,
- g) analogno-digitalni pretvarači,
- h) stabilizatori i regulatori napona (i struje), te
- i) sklopovi za posebne namjene i drugi.

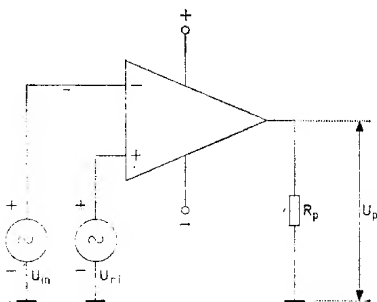
Većina nabrojanih sklopova proizvode se kao *monolitni* (= na jednom komadiću kristala). Neki sklopovi, kao npr. pojačala snage, snažni stabilizatori napona ili neki visokofrekventni sklopovi, izrađuju se i kao *hibridni* (= miješani) sklopovi. Hibridni sklopovi proizvode se tako, da se na podlozi od keramike povezuju aktivne komponente s pasivnim (otpornicima, kondenzatorima, zavojnicama) koje su izrađene određenim postupkom na istoj podlozi. Tako se dobije sklop koji sadrži i one komponente što se inače ne mogu izraditi na monolitni način.

Operacijska pojačala

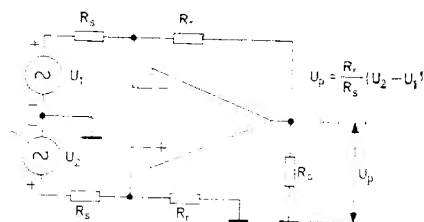
Matematičke *operacije* u analognim elektroničkim računalima (računarima) obavljaju sklopovi, nazvani *operacijskim pojačalima*. Zbog njihovih vrlo zanimljivih svojstava ti se sklopovi upotrebljavaju i daleko šire od prvobitne namjene. Gotovo da nema zadatka u području frekvencija ispod 1 MHz koji se ne bi dao riješiti nekim od brojnih operacijskih pojačala i to, često, jednostavnije, uspješnije i bolje nego, npr. diskretnim (= odijeljenim) komponentama. Budući da su takvi sklopovi vrlo popularni i u amaterskoj praksi, posvetit ćemo im malo više prostora.

Općenito, operacijsko pojačalo ima *diferencijalno-simetričan ulaz* i *nesimetričan izlaz*. Pridjev »diferencijalno« ukazuje na osnovnu namjenu tih pojačala. To je pojačavanje diferencije (razlike) ulaznih električnih veličina (napona ili struje). Na sl. 5-1 je principijelna shema operacijskog pojačala. Tu su upisani i napon U_{in} i U_{ni} na ulazu, te napon U_p na izlazu, odnosno na radnom otpo-

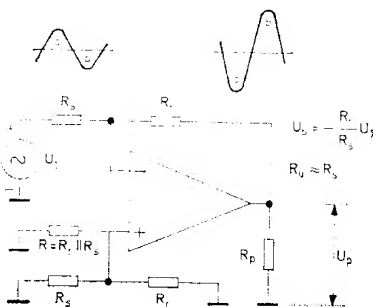
ru R_p koji je jednak otporu potrošača (tereta). Naponsko pojačanje, A_v , takvog pojačala u »otvorenoj petlji« je vrlo veliko. U praksi se vrlo



Sl. 5-1. Principijelna skica operacijskog pojačala



Sl. 5-2. Operacijsko pojačalo koje se koristi kao diferencijalno pojačalo s povratnom vezom



Sl. 5-3. Invertirajuće pojačalo. Umjesto otpornika R_s i R_t može se staviti samo jedan otpornik R . On mora po vrijednosti odgovarati paralelnom spoju $R_s \parallel R_t$.

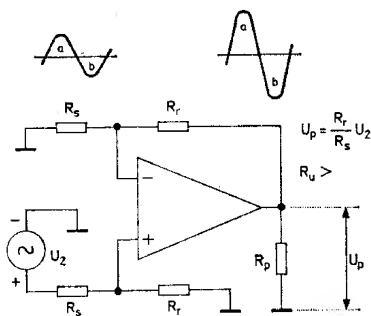
rijetko koristi. Najčešće se primjenom *povratne veze*, tj. vraćanjem jednog dijela izlaznog napona na jedan ili na oba ulaza, daju pojačalu potrebna svojstva.

Osnovni spojevi operacijskih pojačala nacrtani su na slijedećim slikama. Na sl. 5-2 je operacijsko pojačalo primijenjeno kao *diferencijalno pojačalo* s povratnom vezom. Sl. 5-3 prikazuje *invertirajuće pojačalo* u kojemu dolazi do okretanja (inverzije) faze, tj. okretanja stanja titraja izmjeničnog napona U_i . Umjesto dva otpornika, R_i i R_f ($R_i \parallel R_f$), može se staviti otpornik R koji bi bio jednak vrijednosti koja odgovara paralelnom spoju R_i i R_f ($R_i \parallel R_f$). *Neinvertirajuće pojačalo* je na sl. 5-4. Njegov je ulazni otpor vrlo velik. Promjene izlaznog napona imaju istu fazu kao i ulazni napon.

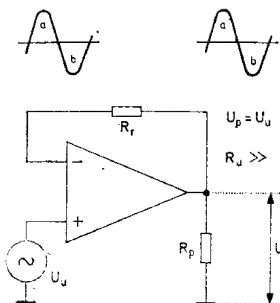
Naponsko slijedilo, realizirano operacijskim pojačalom, vidimo na sl. 5-5. Faza signala se ne mijenja a ulazni otpor je izvanredno velik.

Operacijsko pojačalo može raditi i kao *diferencijator* (sl. 5-6) i kao *integrator* (sl. 5-7).

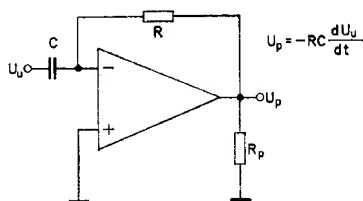
Povratna veza, na sl. 5-2 do sl. 5-7, je ostvarena otpornicima R_i i R_f . O njima ovisi pojačanje. Ako se uz ove otpornike stavi kondenzator ili neka druga *nelinearna* komponenta može se na određen način utjecati na radnu karakteristiku



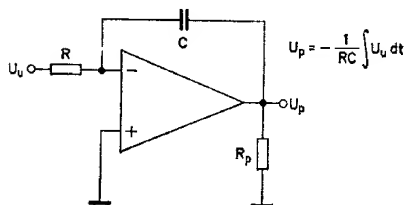
Sl. 5-4. *Neinvertirajuće pojačalo*. Njegov je ulazni otpor vrlo velik



Sl. 5-5. *Naponsko slijedilo sa operacijskim pojačalom*. Ulazni mu je otpor, teorijski, beskonačno velik



Sl. 5-6. *Operacijsko pojačalo kao diferencijator*



Sl. 5-7. *Operacijsko pojačalo kao integrator*

sklopa. Takav slučaj imamo, npr. kod *aktivnih filtera*. Nekoliko ih je opisano i u ovoj knjizi.

Građa operacijskih pojačala

Iz obilja tipova operacijskih pojačala može se odabrati najpovoljnije za rješenje nekog konkretnog problema. Danas se proizvode jednostruka, dvostruka i četverostruka

operacijska pojačala u istom kućištu. I kućišta ima vrlo različitih. Također se i električni parametri od tipa do tipa dosta razlikuju.

Mi ćemo najvažnija rješenja unutar integriranih operacijskih pojačala upoznati na primjeru najpoznatijeg, među njima koji ima oznaku IL 741. Primijenjena sklopovska rješenja dala su tom pojačalu takva svojstva kakva bi u diskretnoj verziji bilo vrlo teško dostići, čak bez obzira na potreban prostor!

Shema integriranog operacijskog pojačala IL 741 je na sl. 5-8. Glavni detalji su mu na sl. 5-9.

Na sl. 5-9a je pojednostavljena shema *ulaznog diferencijalnog stupnja*. Tranzistorski par, TR_1 i TR_2 , radi u spoju zajedničkog kolektora. Takav se spoj odlikuje velikim ulaznim otporom. On je približno jednak umnošku emitorskih otpora s faktorom strujnog pojačanja h_{FE} ($= \beta$) tranzistora TR_1 , odnosno TR_2 . Konkretno, kod IL 741 ulazni otpor je između 0,8 i 2 M Ω .

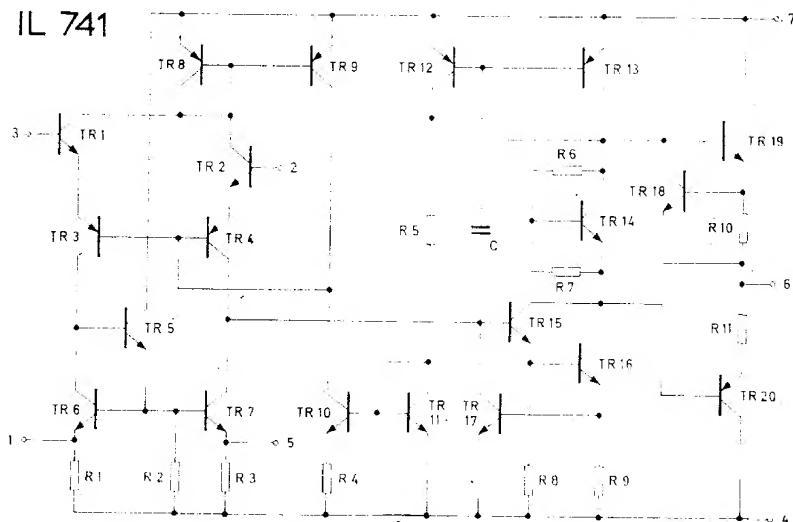
Lateralni (= bočni) tranzistori, TR_3 i TR_4 , su tipa P-N-P. Oni djeluju kao emitorski otpori za tranzistore TR_1 i TR_2 . Lateralni tranzistori ima-

ju mali $h_{FE'}$ ali zato vrlo visok dozvoljeni inverzni (= zaporni) napon između baze i emitera (preko 80 V) što dozvoljava priključivanje razmjerno visokih napona na ulaze pojačala bez opasnosti po sklop.

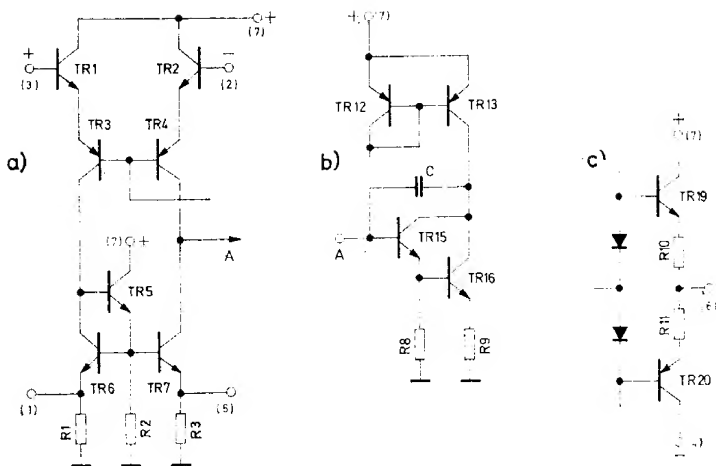
Tranzistori TR_5 , TR_6 i TR_7 spojeni su kao tzv. »strujno zrcalo« koje u ovom slučaju djeluje kao kolektorski otpor za tranzistore TR_3 i TR_4 . Taj je otpor velik, pa će i pojačanje biti veliko. To pojačanje koje se postiže tranzistorima TR_3 i TR_4 obično iznosi oko 250 puta!

Pojačani signal se ovdje uzima nesimetrično, s jednoga od kolektora P-N-P tranzistora (tačka A, sl. 5-9) i vodi se međustupnju.

Međustupanj, sl. 5-9b, ima *darlingtonski par* tranzistora TR_{15} i TR_{16} . Takav par ima veliku ulaznu impedanciju koja neznatno opterećuje ulazni stupanj (u tački A), tj. neznatno smanjuje naponsko pojačanje tog stupnja. Umjesto velikog omskog otpora, što je teško izvesti difuzijom na kristalu poluvodiča, upotrebljeni su tranzistori TR_{12} i TR_{13} . Oni su u spoju strujnog zrcala i predstavljaju kolektorski otpor ovog međustupnja. Na taj način se



Sl. 5-8. Shema integriranog operacijskog pojačala IL 741



Sl. 5-9. Pregled najvažnijih stupnjeva operacijskog pojačala: a) ulazni stupanj; b) međustupanj; c) izlazni stupanj

postizuje pojačanje napona reda tisuću puta.

Spajanjem kondenzatora C (oko 30 pF) između kolektora i baze darlingtonskog para $TR_{15}+TR_{16}$ postiže se tzv. *frekvencijska kompenzacija pojačala* i otklanja se opasnost samoosciliranja.

Na sl. 5-9c vidimo pojednostavljen spoj *izlaznog stupnja*. On je izveden kao *protufazni stupanj u klasi AB*, kako bi se izbjegla izobličenja malih signala, svojstvena pojačalima klase B i C. Izlazni tranzistori, TR_{19} i TR_{20} , zastićeni su od uništenja čak i u slučaju trajnog spajanja izlaza sa bilo kojim polom napona napajanja ili s bilo kojim ulaznim priključkom.

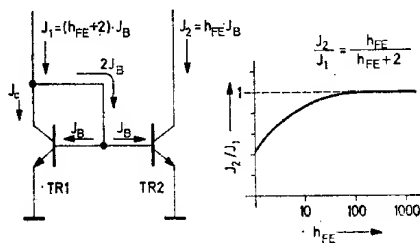
Važno je i strujno zrcalo (engl. »current mirror«). Naziv potječe od sličnosti: obično zrcalo vraća svjetlost koja padne nanj, dok strujno zrcalo kao da vraća onoliko struje koliko unj ulazi.

Najjednostavnije strujno zrcalo čine dva podjednaka tranzistora, spojena prema sl. 5-10. Tranzistoru TR_1 je kolektor kratko spojen s bazom. Time taj tranzistor radi na granici tzv. aktivne regije i napona saturacije (= zasićenja). Kolektor-

ska struja J_C mu je za faktor strujnog pojačanja h_{FE} veća od struje baze J_B . Tako spojen tranzistor na zivaju i »aktivnom« diodom, referentnom diodom, tranzistorskom diodom i slično. Tranzistoru TR_1 dovodimo struju jakosti J_1 .

Baza tranzistora TR_2 spojena je s bazom tranzistora TR_1 . Uz pretpostavku da su tranzistori podjednaki, teći će kroz TR_2 struja podjednake jakosti, kao i kroz TR_1 . Na crtežu vidimo, pokraj slike sklopa, dijagram koji pokazuje da se te struje izjednačuju, kad strujno pojačanje h_{FE} dosegne vrijednost 100.

Bolji sklop ove vrste postiže se spajanjem još jednog tranzistora,



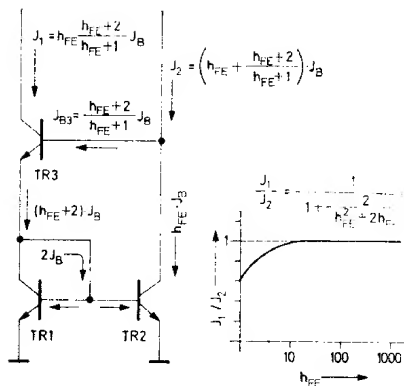
Sl. 5-10. Strujno zrcalo i odnos ulazne i izlazne struje

kao na sl. 5-11. Kroz tranzistor TR_3 vodimo struju J_1 . Time je svojstvo »zrcala« poboljšano utoliko, što se jednake struje J_1 i J_2 postižu, čim je h_{FE} svih triju tranzistora iznad 10. To prikazuje i grafikon na desnoj strani crteža.

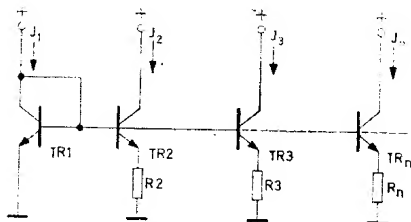
Kod gotovo svih modernijih integriranih sklopova može se naći spoj za postizanje tzv. izvora konstantne struje. Taj nezaobilazan spoj vidimo na sl. 5-12. Priključimo li baze nekoliko tranzistora na »tranzistorsku diodu« (TR_1), a u emiter-ske strujne krugove priključeni tranzistora odgovarajuće otpornike, teći će kroz tranzistore TR_2 , TR_3 , TR_4 i tako redom, konstantne jakosti struje koje neće ovisiti ni o veličini otpora u njihovim kolektor-skim strujnim krugovima, ni o visini napona na koji su ti otpori priključeni. Postignuti su izvori konstantne struje. Oni znatno umanjuju djelovanje promjene napona na parametre sklopova i integriranim pojačalima omogućuju rad u širokom rasponu napona napajanja.

Sami izvori napajanja imaju nekad relativno velik unutrašnji otpor. Ako se na takav izvor priključi jedno ili više operacijskih pojačala, može doći do neželjenih oscilacija uslijed sprege između ulaznih i izlaznih strujnih krugova. U takvom se slučaju mora svako pojačalo zasebno raspregnuti od izvora napajanja. Jedan od načina da se to postigne vidi se na sl. 5-13. Važno je da svi kondenzatori budu montirani i spojeni što bliže nožicama na koje se dovodi struja napajanja. U slučaju potrebe, osim C_1 i C_2 , možemo dodati i kondenzator C_3 . Spoj s njime je označen crticama.

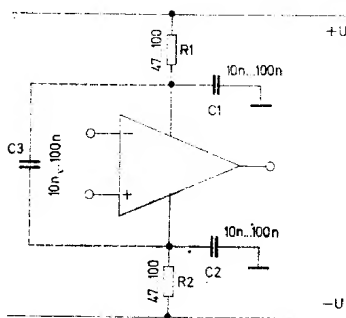
Operacijska pojačala se vrlo često koriste i kao komparatori napona. Komparator napona upoređuje (komparira) neki promjenljivi napon U_n sa nekim poznatim naponom U_{ref} (sl. 5-14). Kadgod je izlaz komparatora pozitivan (U_1), znači da je U_n manji od U_{ref} . Kada je izlaz negativan (U_2), znači da je U_n veći od U_{ref} . To vrijedi u slučaju kada se referentni napon U_{ref} priključi na



Sl. 5-11. Poboljšana varijanta strujnog zrcala



Sl. 5-12. Izvori konstantnih struja. Tu je $J_1 = J_2 + J_3 + \dots + J_n$



Sl. 5-13. Rasprezanje napona napajanja

neinvertirajući (+) ulaz. Isto tako može napon U_{ref} biti priključen i na invertirajući (—) ulaz, samo će se tada naponi na izlazu ponašati obratno nego u prvom slučaju.

Zbog velikog naponskog pojačanja operacijskih pojačala, dovoljna je malena promjena ulaznog napona (»signala«) za okidanje komparatora. Okidanje međutim mogu prouzročiti i smetnje, šum, brujanje i slično. To se može izbjeći dodavanjem otpora 10 M Ω i 10 k Ω (sl. 5-14). Takav se sklop odlikuje svojstvom nazvanim *histereza* (starogrčki: histereo = zaostajem), po analogiji s oblikom krivulje magnetiziranja, i naziva se *Schmitt-trigger* (Šmitov okidač).

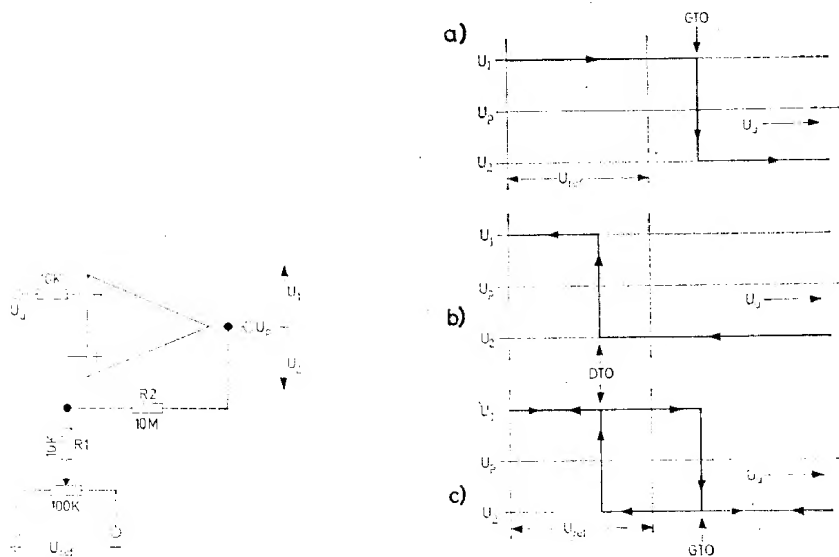
U našem slučaju to znači da ulazni signal, prolazeći U_{ref} u tački *GTO* (gornja tačka okidanja) mijenja napon na izlazu od pozitivnog (U_1) u negativan (U_2), sl. 5-14a. Ako sada ulazni napon pada i dosegne vrijednost *GTO*, napon na izlazu se još neće mijenjati. Potrebno je da ulazni napon padne ispod U_{ref} u *DTO* (donju tačku okidanja). Tada se izlazni napon naglo promijeni od U_2 na vrijednost U_1 (sl. 5-14b). Razlika između *GTO* i *DTO* je mjera za veličinu histereze. Nju možemo po volji odabrati mijenjajući odnos izme-

đu otpora u strujnom krugu povratne veze.

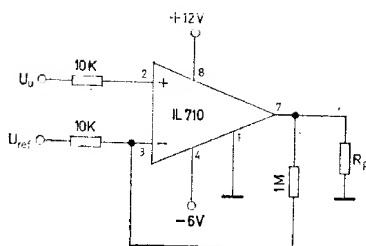
Primjena operacijskih pojačala je ograničena na istosmjerne i na niskofrekventne signale. Ako trebamo komparator za visoke frekvencije, npr. za okidanje vremenske baze osciloskopa, upotrijebimo integrirani sklop *IL 710*. To je specijalni komparator koji dobro radi do frekvencija blizu 30 MHz, iako tvornica garantira ispravan rad do 5 MHz. Izlazni nivoi tog sklopa prilagođeni su digitalnim sklopovima *DTL* i *TTL* serije. Na sl. 5-15 taj je sklop iskorišten kao komparator sa *histerezom*, kao klasični Schmitt-trigger. On pretvara sinusni signal u kvadratičan.

Integrirani stabilizatori napona

Primjenom integriranih sklopova u različitim uređajima porasla je i potreba za izvorima napajanja koji bi kompenzirali promjene napona električne mreže, promjene opterećenja i sve ostale razloge radi kojih



Sl. 5-14. Operacijsko pojačalo kao komparator napona. Dodavanjem otpornika R_1 i R_2 komparator radi sa *histerezom*. Vidi tekst



Sl. 5-15. Integrirani sklop IL 710 kao komparator sa histerezom

bi napon napajanja bio nestabilan. Posebno je to postalo zahtjev kada su se pojavili sklopovi serije »74«. Ona za ispravan rad pretpostavlja »tvrde« i stabilne izvore napona.

Do danas je razvijen velik broj integriranih sklopova za stabilizaciju napona. Neki od njih imaju više izvoda, a time i veću mogućnost da zadovolje različitim, specifičnim zahtjevima. Neki imaju samo tri ili četiri izvoda i predviđeni su da daju jedan stabilan napon. Postoje i impulsni stabilizatori koji mogu dati vrlo ekonomično stabilne napone uz vrlo jake struje.

Od preciznih stabilizatora je najpoznatiji IL 723. Njegovu blok-she-mu pokazuje sl. 6-39, a primjenu sl. 6-40 u slijedećem poglavlju. Na izvodu U_{ref} (vidi ondje) je vrlo stabilan referentni napon od 7,15 V koji daje ugrađena Ženerova dioda. Obilje aktivnih i pasivnih elemenata »brine« se da napon te diode ostane konstantan u svim normalnim uvjetima rada.

Na U_{ref} priključujemo (direktno ili preko razdjelnika napona) neinvertirajući ulaz diferencijalnog pojačala sa velikim pojačanjem. Invertirajući ulaz spajamo sa izlazom (opet direktno ili preko razdjelnika). Tako se upoređuje referentni napon sa izlaznim naponom stabilizatora. Svaka promjena izlaznog napona, nastala ili promjenom opterećenja ili drugim uzrokom, izaziva u diferencijalnom pojačalu (»pojačalo greške«) takvu reakciju da se uspostavi prvobitno stanje na izlazu. To se

postiže jačanjem ili oslabljivanjem struje koja teče kroz izlazni stupanj. U njemu je darlingtonski par tranzistora koji radi kao serijski (redni) stabilizator, kakav se primjenjuje i kod jednostavnijih ispravljača. Gledan izdvojeno, taj darlingtonski par na izlazu radi kao pojačalo sa zajedničkim kolektorom. To znači da se opterećenje nalazi u emitorskom strujnom krugu, pa je izlazni napon direktno ovisan o naponu na bazi a vrlo malo o naponu na kolektoru.

Između priključaka, označenih na shemi kao »current limit« i »current sense« (sl. 6-40) spaja se otpornik (potmetar 1 kΩ), što omogućuje ograničenje izlazne jakosti struje. Čim pad napona na tom otporniku dosegne 0,65 V, tranzistor TR_2 (sl. 6-39a) se počinje otvarati i voditi struju. Zbog toga se smanjuje potencijal baze izlaznog tranzistora TR_1 . U slučaju kratkog spoja bit će izlazni napon U_{iz} samo za pad napona na otporniku viši od nule. Sav ostali višak napona bit će na tranzistoru TR_1 . Imajući u vidu dozvoljenu disipaciju od 0,8 W, možemo izračunati maksimalnu struju sklopa uz poznati ulazni (nestabilizirani) napon U :

$$I_{maks} = \frac{0,8 \text{ V}}{U \text{ (volta)}}$$

uz napomenu da I_{maks} ni u jednom slučaju ne smije premašiti 150 mA. Napon U ne smije biti viši od 38 V.

Kondenzator C_s služi za nužnu frekventnu kompenzaciju sklopa i za otklanjanje opasnosti od »divljih« oscilacija.

Dodavanjem vanjskih snažnih tranzistora (TR_1 i TR_2 na sl. 6-40) možemo stabilizirati napon ispravljača pri strujama od više ampera.

DIGITALNI ILI LOGIČKI SKLOPOVI

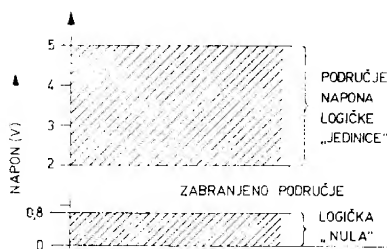
Naziv »digitalni« potječe ovdje od engleske riječi digit, što znači: brojka. Dakle, digitalni sklopovi »bave se« brojkama. Pri tome, u di-

gitalnoj tehnici, svi brojevi se iskazuju samo sa dvije brojke: *nulom* i *jedinicom*. Ustvari, nula (≈ 0) označuje tzv. »nisko« stanje (engl. »low«, *L*). Jedinica (≈ 1) označuje tzv. »visoko« stanje (engl. »high«, *H*). Svakom od tih tzv. *logičkih stanja* odgovara određeno područje napona. Na sl. 5-16, koja vrijedi za većinu bipolarnih sklopova, pokazana su ta stanja. Od nule do $+0,8$ V je područje »logičke nule«. Od $+2$ V do $+5$ V je područje »logičke jedinice«. Između ta dva stanja je »zabranjeno područje«. Kroz ovo ulazna ili izlazna stanja brzo prolaze ali se u tom području ne zadržavaju!

Od ukupnog broja svih postojećih integriranih sklopova najveći dio, po broju tipova i po količini, otpada na digitalne sklopove. Postoje »familije« sklopova, unutar kojih svi tipovi imaju neke zajedničke karakteristike. Takve su familije: *RTL*, *DTL*, *TTL*, *ECL* sa svojim podvrstama, svi u *bipolarnoj tehnologiji*. Posebne familije čine *C-MOS* sklopovi i tzv. *MOS sklopovi u unipolarnoj tehnologiji*.

Po složenosti se sklopovi dijele na one sa malim, sa srednjim i sa visokim stupnjem integracije. Ovi posljednji mogu imati čak desetke tisuća pojedinačnih tranzistora na jednom kristalu.

Već i samo nabrojanje različitih vrsta sklopova premašuje prostor koji ovdje stoji na raspolaganju.



Sl. 5-16. Područje napona logičke »nule« i logičke »jedinice« kod sklopova *TTL* (*Transistor-Transistor Logic*)

Zato ćemo govoriti samo o osnovnim logičkim sklopovima. Od njih se mogu sastaviti i oni najsloženiji. Ako smo shvatili kako rade osnovni, razumjet ćemo i djelovanje svih ostalih.

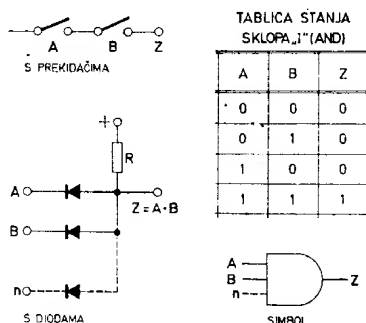
Nekoliko praktičnih primjera korištenja tih sklopova u amaterskoj praksi pokazat ćemo u drugim poglavljima.

Osnovni logički sklopovi

Osnovni logički sklopovi su »*I*«, »*ILI*« i »*NE*«. Iz njih su izvedeni sklopovi »*NI*« i »*NILI*«. Ti sklopovi propuštaju električne signale na tačno određen način. Zajedničkim imenom ih nazivamo »vrata« ili »gejt« (engl. »gate«). Vrata mogu imati jedan ili više ulaza (do osam), ali jedan izlaz.

a) Logički sklop »*I*« (engl. »*AND*«):

Ako su kod ovog sklopa prvi, drugi i *n*-ti ulaz u stanju logičke jedinice, bit će i izlaz u »jedinici«. Taj sklop razlikuje da li se na njegovim ulazima pojavljuju signali ili ne. On kao da »logički zaključuje«. Odatle mu i naziv »logički sklop«. Radi lakšeg razumijevanja taj je sklop prikazan i pomoću prekidača (sklopki) i sa diodama, sl. 5-17. Tu je njegov simbol i tzv. *tablica stanja* (u literaturi je nazivaju »truth



Sl. 5-17. Logički sklop »*I*« (*AND*)

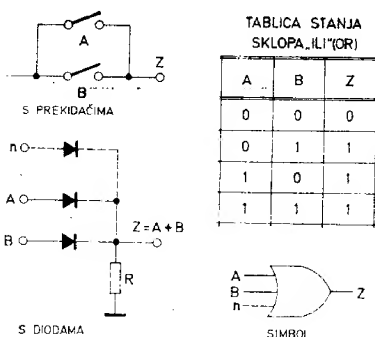
table« = tablica »istine«, tablica vjerodostojnosti). Ako bi umjesto dva, sklop imao više ulaza, tablica bi bila opširnija. Ona bi se u biti poklapala sa ovom za dva ulaza.

b) Logički sklop »ILI« (engl. »OR«):

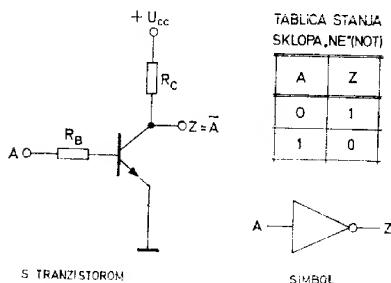
Izlaz tog sklopa je u stanju jedinice, ako su *ili* jedan *ili* drugi *ili* oba ulaza u logičkoj jedinici. Samo onda, kad su svi ulazi »u nuli« i izlaz je u nuli. Sklop je prikazan na sl. 5-18.

c) Logički sklop »NE« (engl. »NOT«):

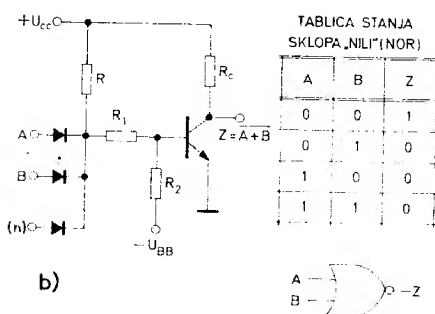
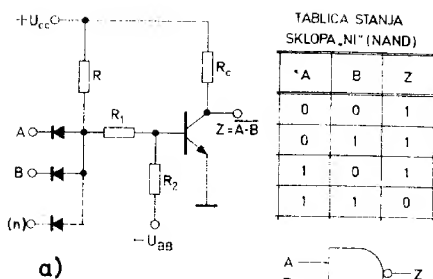
Logički sklop »NE« zove se i *inverter*. On *samb okreće fazu* signala, ujedno pojačavajući struju. Ne može se izvesti diodama. Potreban je aktivni elemenat (tranzistor ili FET). Vidimo ga na sl. 5-19. Obr-



Sl. 5-18. Logički sklop »ILI« (»OR«)



Sl. 5-19. Logički sklop »NE« (»NOT«), poznatiji kao »inverter«



Sl. 5-20. Izvedeni logički sklopovi: a) sklop »NI« (»NAND«); b) sklop »NILI« (»NOR«)

timo pažnju na simbol inverzije. To je *crtica* iznad slova A. Sa \bar{A} -zo *o!* načeno tzv. *komplementarno stanje*.

d) Logički sklopovi »NI« (engl. »NAND«) i »NILI« (engl. »NOR«):

Logički sklopovi »NI« i »NILI« nastaju tako da na izlaz sklopa »I« ili »ILI« spojimo inverter »NE«. Na simbolima se ta činjenica bilježi *malom kružnicom* na izlazu sklopova. Slike 5-20a i 5-20b pokazuju osnovne sheme, simbole i tablice stanja tih sklopova.

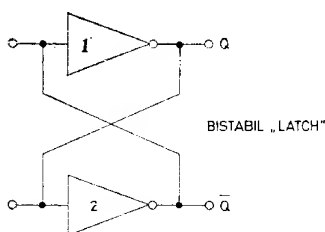
Bistabili

Naziv *bistabil* proističe iz osnovnog svojstva tog sklopa, tj. da je *stabilan u dva različita stanja*. U li-

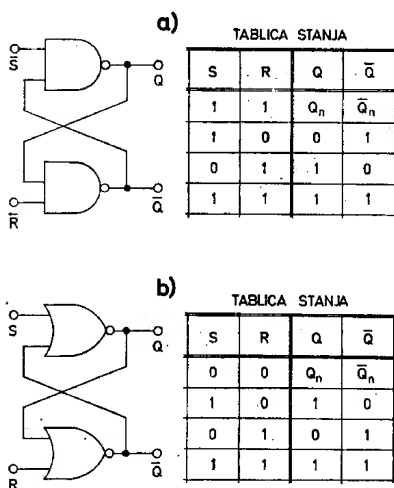
teraturi ga zovu i »*flip-flop*«. U shemama se često označuje slovima »*BB*« ili »*FF*«.

Bistabil ima dva izlaza, Q i \bar{Q} . Oni su uvijek u suprotnim stanjima. Postoje, dakako, i »ulazi«, preko kojih se bistabil postavlja u neko željeno stanje. Bistabili se međusobno razlikuju upravo po vrsti tih ulaza.

Djelovanje promjena na ulazu na stanja na izlazima prikazuje se tablicama stanja. U njih se unose sve moguće kombinacije ulaza i odgovarajuća stanja na izlazima Q i \bar{Q} . Međutim, izlazno stanje ne ovi-



Sl. 5-21. Najjednostavniji bistabilni sklop (»*LATCH*«)



Sl. 5-22. Bistabilni sklopovi: a) s dva sklopa »*NI*«; b) s dva sklopa »*NILI*«

si samo o stanjima na ulazima, nego također o *prethodnom stanju* bistabila. Zato kažemo da je bistabil slijedni sklop. U tablici stanja označujemo ono stanje u kojemu se bistabil nalazi prije impulsa kao stanje u n -tom koraku. Stanje nakon impulsa označuje se kao stanje u koraku $n+1$.

Pokazat ćemo kako se od »vrata« kao osnovnih logičkih sklopova mogu sastaviti najpoznatiji bistabili.

Sa dva »*NE*« (»*NOT*«) sklopa možemo načiniti bistabil prema sl. 5-21. Razmotrimo malo kako radi taj najjednostavniji bistabilni sklop. Pretpostavimo da je ulaz sklopa 1 u logičkoj jedinici (»visoko«). Budući da je to inverter, izlaz Q mora biti u nuli (»nisko«). Ulaz sklopa 2 je spojen na Q , pa je također na nuli. Prema tome izlaz \bar{Q} mora biti na jedinici. Slično vrijedi i uz pretpostavku da je sve obratno. U svakom slučaju je *podatak* »čvrsto zapisan« i bistabil ga »pamti«. Zato je bistabil osnovna ćelija memorije.

Vidjeli smo da se ulazi i izlazi sklopova međusobno podupiru u nastojanju da *sačuvaju uspostavljeno stanje*. Bistabil kao da je *zamandaljen, zasunut*. Engleski se tome kaže »*latched*«. Otuda takvim bistabilima naziv *LATCH* (čitaj: leč).

Na sl. 5-22 vidimo kako se može takav *LATCH* sastaviti od »*NAND*« i »*NOR*« sklopova. Važno je uočiti oznake \bar{S} i \bar{R} na ulazima sklopa, sl. 5-22a. Ovdje to znači da će ulaz \bar{S} koji nazivamo »*set*« (tj. »postavi!«) dovesti izlaz Q u jedinicu (»visoko«) kad sam bude u nuli (»nisko«). Ulaz \bar{R} zovemo »*reset*« (tj. »briši!«) jer on »briše« jedinicu izlaza Q i svodi ga na nulu, kada sam bude u nuli (što se bilježi crticom iznad slova!)

Sklop na sl. 5-22b se ponaša također tako, ali samo onda kad su ulazi S i R u jedinici. U tome je razlika. Ako pažljivo pogledamo tablice stanja možemo to lako zaključiti. Stanje u četvrtom retku

na jednoj i na drugoj tablici smatra se nenormalnim. Nije, naime, za *bistabil* dozvoljeno da oba izlaza budu istovremeno u jedinici (»visoko«). Zato se mora pogodnim sklopovskim rješenjima spriječiti takav slučaj. To je razlog da se ovakvi sklopovi u praksi vrlo rijetko koriste. No, postoje i bolja rješenja.

Ako prethodnim sklopovima damo još dva, spojena prema sl. 5-23, dobijemo tzv. *upravljani bistabil*. Kod njega sklopovi 1 i 2 predstavljaju *upravljački dio*, a sklopovi 3 i 4 su već opisani *LATCH*. Na ulaz, označen sa *CP* (engl. »Clock Pulse« = impulsi od »sata«, *davač takta*) dovodimo impulse u nekom nizu, oni će pri prelazu od »nule« u »jedinicu«, prema tablici stanja, upisati u *LATCH* ono stanje koje postoji na ulazima *S* i *R*. Za takav bistabil kažemo da radi *sinhrono* sa impulsima ritma na *CP*. Ovo je jedan od tzv. *dinamičkih bistabila*.

U praksi se bistabili najčešće grade kao tzv. »Master-Slave« (*MS*) *bistabili*. Obično su po dva jednaka u zajedničkom kućištu i na istom poluvodičkom kristalu. Po svojoj konstrukciji svaki od njih je *dvostruki upravljani bistabil*, gdje ulazni dio (zvan »Master« = gospodar) upravlja *pomoćnim bistabilom* (zvanim »Slave« = sluga, rob). *MS-bistabili* mogu biti načinjeni kao *RS*, *JK*, *D* ili *T* bistabili, ovisno o ulaznim priključnicama. Osim toga oni imaju i *direktne ulaze* koji mogu bistabil postaviti u neko stanje, nezavisno od svih drugih ulaza. To su

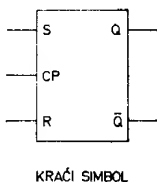
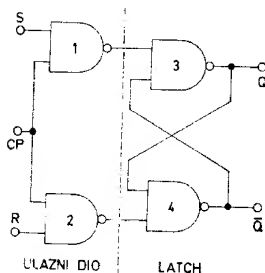
SET i *RESET* na ulazu u pomoćni, upravljani bistabil.

Svi ovakvi bistabili imaju također svojstvo da »pamte« upisano stanje tako dugo dok ga novim impulsom ne »izbrišemo«. Prema tome, *velike elektroničke memorije* sastoje se od mnogo, međusobno povezanih, pojedinačnih ćelija koje »pamte«.

Drugo, isto tako važno svojstvo bistabila je da *frekvenciju*, dovedenu na ulaz *dijele sa dva*. To se događa jer su ulazi takvi da mijenjaju stanje izlaza samo onda kad ulazni signal, kod nekih bistabila, raste od niskog do visokog stanja, odnosno obratno kod drugih tipova. U svakom slučaju radi se o promjeni stanja izlaza rastućim ili nadajućim bridom promjene na ulazu.

Pretpostavimo sada da je ulazni signal sinusoidaln. Neka se mijenja stanje bistabila svaki put, kad sinusoida ide od negativnog prema pozitivnom maksimumu. Tako će se u *svakoj periodi* stanje *samo jedanput* promijeniti. Da se bistabil vrati u početno stanje mora proći još *jedna perioda sinusoida*. Na taj način je *frekvencija* na izlazu *bistabila dvostruko niža*!

Spomenimo još ukratko svojstva nekih bistabila kao djelitelja frekvencije: *T-bistabil* mijenja stanje sa *svakim* impulsom; *JK-bistabil* mijenja stanje samo onda ako su i *J* i *K* ulazi u stanju logičke jedinice; *D-bistabil* mijenja stanje ako je *D-ulaz* spojen sa izlazom *Q̄*.



TABLICA STANJA

S	R	Q	Q̄
0	0	Q	Q̄
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	NEODREĐENO	

Sl. 5-23. Upravljani bistabil »RS«

Spajanjem većeg broja bistabila u seriju, da slijede jedan za drugim, možemo frekvenciju dijeliti po volji. Pritom će svaki bistabil raspoloviti frekvenciju koju dobije od prethodnoga. Takvo dijeljenje nazivamo *binarnim*, jer se stalno *dijeli s dva*. Broj bistabila određuje eksponent potencije kojoj je baza dva: $2^1=2$; $2^2=4$; $2^3=8$; $2^4=16$; $2^5=32$ itd.

Često je potrebno frekvenciju *dijeliti s deset*, tj. *dekadski*. *Dekadski djelitelj* se može načiniti, prema sl. 5-24, od četiri JK bistabila i jednih I-vrata. Bistabili su ovdje spojeni jedan za drugim. JK-ulazi su spojeni na »+«, što nije nacrtano na shemi radi jednostavnosti. Svi bistabili imaju zajednički ulaz R_0 . Ako je ovaj u stanju »nula«, brojiilo normalno radi »prebrojavajući« dolazeće impulse. Ukoliko je R_0 u stanju »jedan«, svi se izlazi brišu, tj. dolaze u stanje »nula«. Vrata, označena slovom G, spojena su na izlaze Q_1 i Q_3 . Kada se *oba* ova izlaza nađu u jedinici, vrata G dovedu sve ulaze R_0 u stanje jedinice i time se odmah brišu jedinice svih bistabila. Ako pogledamo *tablicu stanja* na sl. 5-25, koja pripada ovakvom sklopu, to će se dogoditi kada u brojiilo, kod U, dođe *deseti impuls*. Kad je već upisana devetka, brojiilo skoči u početno stanje. U tome momentu izlaz IZ mijenja stanje od jedinice na nulu i upisuje *brojku jedan u slijedeću dekadu*, ukoliko je ona spojena u seriju s prvom dekadom.

Dekadska brojila proizvode se u različitim tehnologijama. Neka od njih omogućuju dijeljenje frekvencije do 1 GHz. Ima izvedbi u kojima su po dva ili više djelitelja smješteni u istom kućištu.

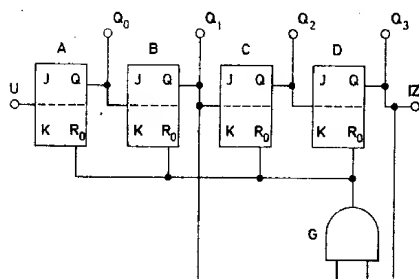
Binarni djelitelji frekvencije koriste se često u integriranim sklopovima visokog stupnja integracije, npr. u *elektroničkim satovima*, gdje u nizu ima više od dvadeset binarnih djelitelja frekvencije.

Princip koji smo upoznali na primjeru dekadskog brojila nazivamo još *principom skraćivanja cik-*

lusa. Primjenom tog principa i određenog broja bistabila i vrata, možemo po želji odabrati »modul« koji dijeli frekvenciju na način koji nam treba. U praksi je to iskorišteno u *PLL-sistemima za biranje radnih »kanala« u radio-uređajima*.

PRINCIP DIGITALNOG MJERENJA FREKVENCije

Digitalno »brojiilo« (brojač) frekvencije (engl. Frequency Counter, »frekvencmetar«) također je primjer primjene integriranih digitalnih sklopova. Njegova blok-shema na sl. 5-26 je vrlo pojednostavljena.



Sl. 5-24. Principijelna shema dekadskog djelitelja (dekadskog brojila)

BINARNO:	8	4	2	1
DEKADSKI:	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0

Sl. 5-25. Tablica stanja dekadskog brojila. Vidi tekst

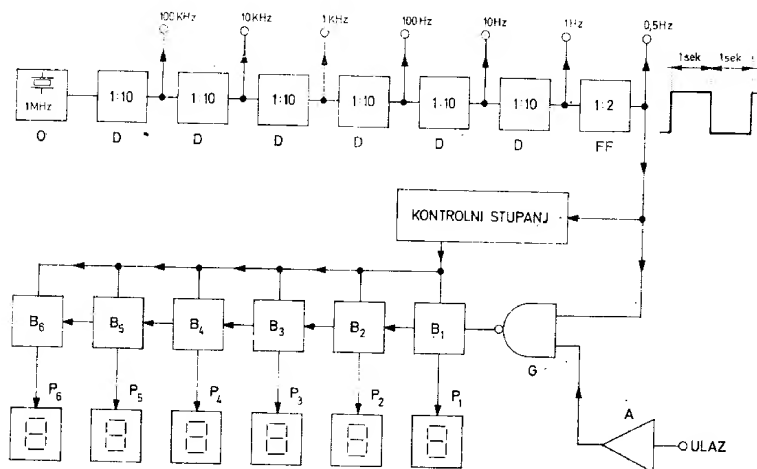
Oscilator s kvarcovim kristalom oscilira na frekvenciji 1 MHz. Nacrtan je kao četvorokut sa oznakom *O*. U tome oscilatoru su obično dva invertera ili dva NAND-sklopa, ali može biti načinjen i sa diskretnim komponentama. Poželjno je da njegov izlazni signal već bude kvadratičnog oblika. Takav signal dolazi u lanac od šest dekadskih djelitelja (*D*). Na izlazu iz posljednjega imamo kvadratičan signal od 1 Hz. Ovaj još dijelimo u bistabilu *FF* tako, da se na izlazu bistabila dobije signal koji kroz cijelu jednu sekundu ima »visoko« a kroz slijedeću sekundu »nisko« stanje i tako redom.

Sa tog izlaza vodimo ovaj signal na jedan ulaz vrata *G* i na ulaz »kontrolnog sklopa«. Na drugi ulaz vrata *G* je spojeno pretpojačalo *A*. Ono ima zadatak da signal, kojemu želimo izmjeriti frekvenciju, pojača i da ga oblikuje kao kvadratičan, bez obzira kakav je bio na ulazu. Tu može izvrsno poslužiti Schmitt-trigger, opisan napred. Izlaz vrata *G* spojen je sa ulazom lanca, sa stavljenog od šest brojila, šest memorija i šest »dekodera« (*B*₁ do *B*₆) i, konačno, šest pokazivača (»display«), od *P*₁ do *P*₆.

Postoje i takvi sklopovi kod kojih je sve ovo sadržano u istom kućištu. Dakako, cijelom uređaju treba dovesti i napon napajanja ali to, radi preglednosti, nije nacrtano.

Kako sada taj uređaj djeluje? Pretpostavimo da je na izlazu iz bistabila *FF* »visoko« stanje (jedinica). Ulaz vrata *G*, spojen sa tim izlazom, »nije aktivan«. Ako sada iz pretpojačala *A* na drugi ulaz vratiju *G* dođe neki impuls, on će kod prelaza iz visokog u nisko stanje mijenjati i stanje na izlazu *G* od niskog na visoko, budući da taj sklop invertira signal. Ova se promjena upisuje u brojilo *B*₁ kao jedinica. Svaki slijedeći impuls povisuje »sadržaj« brojila *B*₁. Deseti impuls resetira (tj. vrati na nulu) brojilo *B*₁ i, istovremeno, upiše jedinicu u brojilo *B*₂. U nastavku će se »puniti« i ovo brojilo do deset, kada će biti resetirano. U *B*₃ će se upisati jedinica. Taj proces teče tako dugo, dok na ulazu bistabila *FF* traje »visoko« stanje.

Nakon isteka jedne sekunde to se stanje mijenja u »nisko« i na ulazu u *G* obustavlja se dalji prolaz impulsima u brojilo. U isto vrijeme se aktivira kontrolni stupanj. On djeluje u koracima. Najprije spoji



Sl. 5-26. Pojednostavljena shema brojila frekvencije

memorije na brojila i time u memorije »upíše« *sadržaj svih brojila*. Zatim prekine vezu između brojila i memorije i spoji memorije sa dekoderima koji su u stalnoj vezi s pokazivačima. U tome momentu se na pokazivačima pojave brojke omogućujući da se pročita koliko je impulsa bilo u jednoj sekundi tj. kolika je frekvencija. Brojke *ostaju vidljive* i dalje.

Sada kontrolni stupanj izbriše *sadržaj svih brojila* dovodenjem

»visokog« stanja na ulaze *RESET*, od B_1 do B_6 . Nakon isteka od jedne sekunde, ponovno će bistabilov izlaz doći u »visoko« stanje i brojanje frekvencije se ponavlja.

Namjerno nismo ulazili u detalje. Za njih nemamo prostora. Cilj je bio samo da se pokaže *princip* rada pojedinih sklopova. Danas ima i takvih sklopova koji u sebi sadrže sve što je opisano, osim pokazivača i kvarcnog kristala. Ali i oni rade po istom principu.

IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE

IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POGON RADIO-UREĐAJA

Među amaterskim radio-uređajima najviše je takvih koji su *stacionarni*, tj. onih koji rade uvijek na istom mjestu. Oni se redovito napajaju električnom energijom iz mreže izmjenične struje.

Danas se izmjenična električna struja redovito proizvodi i potrošačima dovodi kao trofazna. To znači da se u generatorima istovremeno proizvode tri izmjenične struje. Njihova frekvencija je precizno ista, 50 Hz. I naponi su jednaki, ali one se međusobno razlikuju po fazi. Druga zaostaje za prvom za jednu trećinu titraja, treća za drugom opet za jednu trećinu titraja, da iza slijedeće trećine prva izmjenična struja dosegne svoje prvobitno stanje i tako redom.

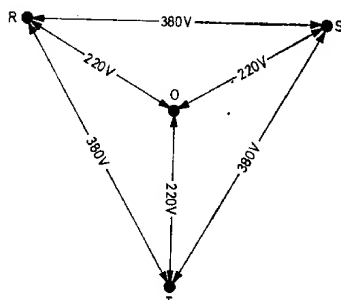
Osim tri žice koje nazivamo »faznim vodovima« ili, kraće, »fazama« (R, S i T, sl. 6-1) tu je i četvrta žica, tzv. »nul-vodič« ili »nula«. Između pojedinih faznih vodova efektivna srednja vrijednost izmjeničnog napona (ili kraće: izmjenični napon) iznosi po 380 V, dok je napon između bilo kojega faznog voda i »nule« 220 V. U stanovima se obično služimo izmjeničnim naponom od 220 V, pa je u pojedini stan uveden jedan od faznih vodova i nul-vodič. Sve tri »faze« dovode se samo do većih motora i drugih snažnijih potrošača, osobito u tvornicama i radionicama.

Električna mreža izmjenične struje je zaista svestran izvor, jer se primjenom transformatora mogu

postići svi naponi potrebne veličine koji se onda diodama ili drugim elektroničkim ventilima lako mogu pretvoriti u istosmjerne.

Prevozni uređaji, koji su montirani u automobilima i u drugim motornim vozilima, priključuju se na akumulatorsku bateriju samog vozila. Moderni radio-uređaji ove vrste građeni su redovito za pogonski istosmjerni napon od 12 do 15 V. To je visina napona u vozilu sa olovnim akumulatorom od 12 V. Ovaj napon ima akumulator samo onda, ako motor ne radi. Za vrijeme vožnje se akumulator stalno puni pa mu je napon promjenljiv, što savremeni uređaji dobro podnose.

U *prenosnim primopredajnicima* najčešće ćemo naći suhe galvanске



Sl. 6-1. Trofazna izmjenična struja razvodi se do potrošača sa četiri žice. Slovima R, S i T označeni su fazni vodovi. Četvrta žica je tzv. nul-vodič. Među faznim vodovima je izmjenični napon od 380 V. Između bilo koje faze i nul-vodiča izmjenični napon je 220 V

baterije, rjeđe nalazimo male čelične ili olovne akumulatore.

Veliko značenje imaju i prenosni benzinski motor-generatori koji — poput malih električnih centrala — proizvode izmjeničnu struju. Uz snagu od nekoliko stotina vata daju efektivni napon od 110 ili 220 V. Takvi generatori električne energije mogu u slučaju prirodnih katastrofa (poplave, potresi i drugo) potpuno nadomjestiti priključak na normalnu električnu mrežu. Za nuždu može i vodenica vrtjeti pogodni generator.

U krajevima koji su udaljeni od civilizacije (arktički ili antarktički predjeli, planinske, prašumske ili pustinjske oblasti) iskorištavaju se, uz ostalo, različiti generatori sa pogonom na vjetar ili termo-električni izvori.

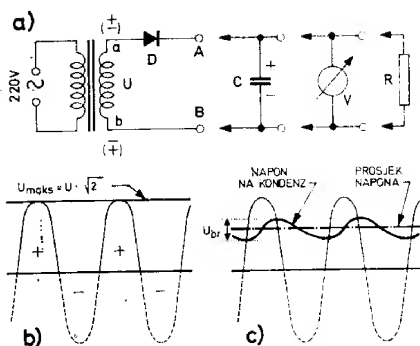
Za pogon elektroničkih i radio-uređaja na umjetnim satelitima redovito služe posebni foto-elementi, složeni u tzv. sunčane ili solarne baterije. One su veoma interesantne amaterima koji vole eksperimentirati. Još nedavno ih nije bilo moguće nabaviti, ali se u nekim zemljama pomalo pojavljuju i na tržištu. Za amatere su ipak još jako skupe!

OSNOVNA SVOJSTVA I VRSTE ISPRAVLJAČA

Princip ispravljanja

Silicijeva ispravljačka dioda D (sl. 6-2) djeluje kao ventil. Ona propušta električnu struju samo u jednom, tzv. *propusnom* smjeru. U obrnutom, tzv. *zapornom* smjeru, električna struja ne može teći.

Kad bismo na tačke A i B (sl. 6-2a) spojili neki otpornik, kroz njega bi električna struja tekla samo na mahove, kako je punom crtom prikazano na sl. 6-2b. Izmjenični napon iz transformatora mijenja se valovito (sinusoidalno), ali kroz ispravljačku diodu može pro-



Sl. 6-2. Princip ispravljača. Objašnjenje u tekstu

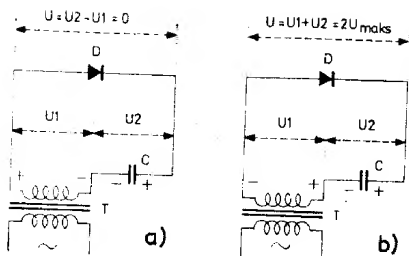
teći samo jedna polovica vala, označena sa »+«. Takvo ispravljanje zato nazivamo *poluvalnim* ispravljanjem.

Ako sada na A i B priključimo samo kondenzator C , on će se kroz diodu nabijati elektricitetom onda, kad je a pozitivno. To tako ide sve dok se kondenzator nabije na maksimalnu vrijednost izmjeničnog napona. Ako je efektivna vrijednost napona na transformatoru U , kondenzator će se nabiti na $U_{maks} =$

$U\sqrt{2} = 1,4 U$. To znači da će, npr., u slučaju da transformator daje napon $U = 220 V$, na kondenzatoru istosmjerni napon doseći 310 V.

Ukoliko su priključeni i kondenzator C i otpornik R , kondenzator će se kroz R izbijati (prazniti) i istovremeno, za vrijeme svakog pozitivnog poluvala izmjenične struje, ponovno nabijati (puniti). Uslijed toga je napon na kondenzatoru niži. Osim toga on nije više ni stalan jer se valovito mijenja (sl. 6-2c). Voltmetar će pokazivati neki prosjek istosmjernog napona kojemu je dodan izmjenični napon brujanja U_{br} . Frekvencija tog brujanja je — kod poluvalnog ispravljanja — jednaka frekvenciji izmjenične struje.

Ispravljačka dioda mora, radeći kao ventil, izdržati u zapornom smjeru razmjerno veliko naponsko opterećenje. Kad se kondenzator C već nabio na maksimalni napon



Sl. 6-3. Dioda D koja služi kao ispravljački ventil mora u ispravljaču izdržati visok inverzni napon. Vidi tekst

$U_2 = U \sqrt{2}$ onda se tome dodaje još i napon na transformatoru. U momentu, prikazanom na sl. 6-3a, maksimalna vrijednost izmjeničnog napona U_1 i napon U_2 se poništavaju i na diodi D nema napona. Malo kasnije, kada se promijeni polaritet izmjeničnog napona (sl. 6-3b) i on ponovno dosegne maksimum U_1 , napon na diodi će doseći **dvostruki iznos maksimalne vrijednosti** izmjeničnog napona: $2U_{maks}$. Ako ispravljačka dioda ne može izdržati tako velik napon, dolazi do proboja i uništenja diode, a često i do kratkog spoja uz još veće štete.

Maksimalno dopustivi zaporni napon ispravljačke diode (»Peak Inverse Voltage«, »PIV«), uz ostale je podatke najvažniji. Zato treba strogo paziti da se vrijednost za PIV , označenu u katalozima tvornica, nikada ne dosegne. Za sigurnost treba ispravljačku diodu opteretiti inverznim naponom koji je barem 30% ili više *ispod* te vrijednosti!

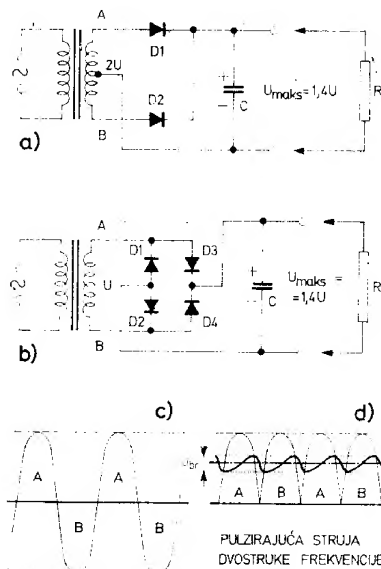
Punovalno ispravljanje i umnažanje napona u ispravljačima

Bolje je iskorištenje raspoložive električne energije kod ispravljača sa **punovalnim** ispravljanjem izmjenične struje. Principijelne sheme takvog ispravljača su na sl. 6-4.

Punovalno ispravljanje pomoću **dviye** diode zahtijeva transformator koji na svojoj sekundarnoj strani ima namotaj za **dvostruki** izmjenični napon ($2U$). Namotaj mora imati odvojak u sredini. Jedna polovica tog namotaja šalje struju kroz D_1 , a druga kroz D_2 . Tako su oba poluvala (A i B , sl. 6-4c) iskorištena za nabijanje kondenzatora, sl. 6-4d.

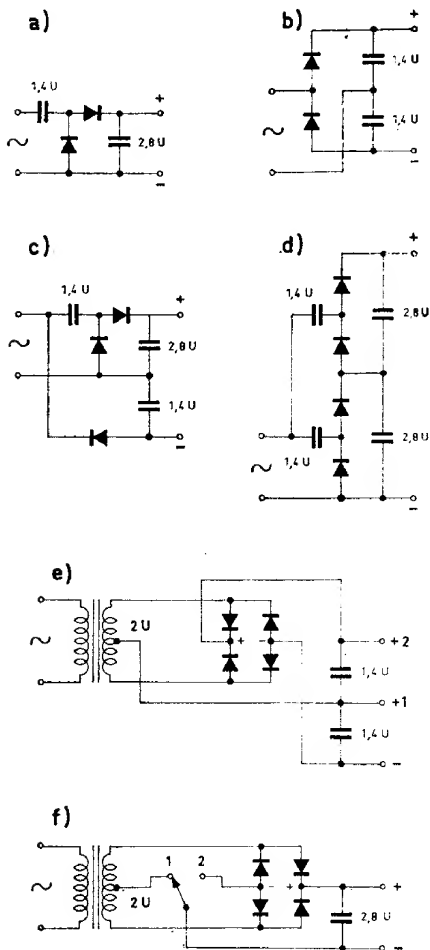
Graetz (Grec) je primijenio četiri diode u tzv. »mostu« (sl. 6-4b). Sekundarna strana treba da je namotana samo za napon U , što je prednost u odnosu na sl. 6-4a. Opet se iskorištavaju oba smjera izmjenične struje: ispravljanje je također punovalno.

Otpornik R neka predstavlja trošilo struje. Napon na kondenzatoru



Sl. 6-4. Dva primjera punovalnog ispravljanja: a) pomoću dvije ispravljačke diode; b) sa četiri diode u Graetzovom (Grecovom) spoju; c) izmjenična struja od koje su d) iskorištena oba smjera. U_{br} je napon brujanja, koji je manji nego li kod poluvalnog ispravljanja. Ostalo u tekstu

padne i javlja se brujanje, slično onomu kod poluvalnog ispravljanja. Ipak ima važna razlika. Uz jednaki opteretni otpornik i isti kapacitet kondenzatora smanjenje napona je manje zbog češćeg dopunjavanja.



Sl. 6-5. Ispravljački sklopovi za umnažanje napona: a) i b) udvostručenje; c) utrostručenje; d) učetverostručenje napona; e) istovremeno postizavanje dvaju napona koji se odnose kao 1 : 2; f) ispravljač koji daje ili jednostruki ili dvostruki ispravljeni napon

Zbog toga je i frekvencija brujanja *dvostruka!*

Smišljenim kombinacijama ispravljačkih dioda i kondenzatora mogu se postići viši istosmjerni naponi nego kod upravo opisanih ispravljača.

Dvostruk istosmjerni napon daje Villard-ov (Vijarov) ispravljački sklop (sl. 6-5a), kao i Greinacher-ov (Grañaherov), sl. 6-5b. Pokraj svakog kondenzatora je napisana maksimalna vrijednost napona na koju se on nabije, ako je U efektivna vrijednost izmjeničnog napona.

Utrostručenje istosmjernog napona je omogućeno sklopom od tri ventila i tri kondenzatora (sl. 6-5c).

Četverostruk istosmjerni napon daje ispravljački sklop prema sl. 6-5d.

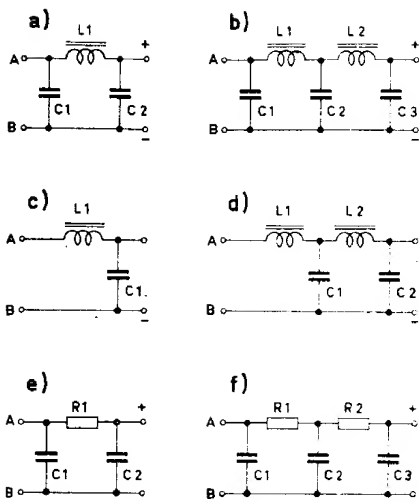
Dva istosmjerna napona istovremeno daje ispravljački sklop prema sl. 6-5e. Napon »+1« upola je manji od napona »+2«.

Nekad je veoma korisno, ako se neki napon može smanjiti na polovicu ili podvostručiti. Ovo je omogućeno ispravljačkim sklopom koji je nacrtan na sl. 6-5f. Ako je preklopnik u položaju »1«, izlazni istosmjerni napon po svojoj veličini odgovara naponu koji bi se dobio i sklopom na sl. 6-3b. Kad se preklopnik prebaci u položaj »2«, napon postane dvostruk. Razumije se, da kondenzator mora biti sposoban da podnese taj viši napon.

ISPRAVLJAČKI FILTERI

Vrste filtera

Kondenzator C na sl. 6-2 i na sl. 6-4 služi kao »rezervoar« za elektricitet. On se kroz električni ventil na mahove puni elektricitetom. Isti kondenzator zatim služi kao izvor istosmjerne struje. Kad bi njegov kapacitet bio izvanredno velik a potrošak struje iz njega sasvim malen, istosmjerna struja koja teče kroz potrošač bila bi sasvim mirna,



Sl. 6-6. Nekoliko tipičnih filtera za ispravljače: a) i b) LC-filteri sa ulaznim kapacitetom; c) i d) LC-filteri sa ulaznim induktivitetom; e) i f) RC-filteri sa ulaznim kapacitetom

bez bruhanja. Tako velik kondenzator bio bi preskup. Da troškovi izgradnje ispravljača budu u skladu sa iskorištenom električnom energijom, potrebno je da kondenzator praznimo razmjerno jačim strujama.

Protiv neizbježivog bruhanja ispravljene struje, koje je tim jače što je potrošak struje iz ispravljača veći, mogu se primijeniti pogodni filteri.

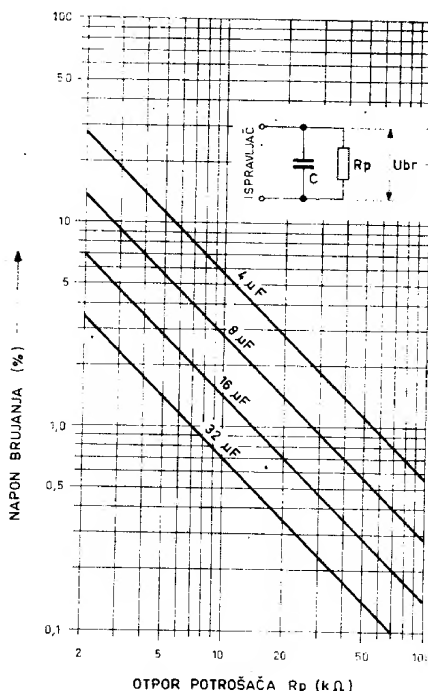
Na sl. 6-6 su nacrtane njihove glavne vrste. U prvom redu moramo razlikovati filtere sa ulaznim kondenzatorom (sl. 6-6a, b, e i f) od filtera sa ulaznom prigušnicom (sl. 6-6c i d). Zatim treba razlikovati jednočlane filtere (sl. 6-6a, c i e) od dvočlanih filtera (sl. 6-6b, d i f). Tročlani filteri su rjeđi.

U svim filterima su prisutni kondenzatori, ali prigušnice mogu ponekad biti zamijenjene otpornicima. Filtere s prigušnicama nazivamo LC-filterima, a one sa otpornicima RC-filterima.

Proračun kondenzatora. Filtracija

Vrstu filtera i veličine njegovih sastavnih dijelova treba izabrati prema svrsi za koju će ispravljač služiti. O namjeni ispravljača ovisi dopuštena veličina napona bruhanja. Taj napon ne smije preći određenu vrijednost, i to:

Za izlazni stupanj CW
predajnika 5%,



Sl. 6-7. Napon bruhanja U_{br} izražen u procentima istosmjernog napona na kondenzatoru C , koji je spojen odmah iza ispravljačkih dioda. Dijagram vrijedi za otpore potrošača u kilo-omima ($k\Omega$). Za hiljadu puta manje otpore, izražene u omima (Ω) vrijedi isti dijagram, uz uvjet da se kapaciteti uzmu hiljadu puta veći! — Dijagram je načinjen za punovalno ispravljanje, tj. za frekvenciju 100 Hz. Za poluvalno ispravljanje (50 Hz) treba vrijednosti podvostručiti. Ostalo vidi u tekstu

Za izlazni stupanj AM, FM
ili SSB predajnika 1%,
Za pojačala klase B 0,25%,
Za VFO, za NF pojačalo, za
prijemnike i SSB gene-
ratore 0,01%.

Navedeni procenti odnose se na ukupnu vrijednost istosmjernog anodnog napona. Traži se dakle da anodni napon izlaznog stupnja nekog predajnika za telefoniju od, recimo, 500 V smije imati brujanje kojemu je napon najviše 5 V. Prema gornjem, napon od 10 V za pogon nekog VFO-a mora biti tako dobro filtriran da preostali napon bruja- nja bude što manji, najviše 1 mV.

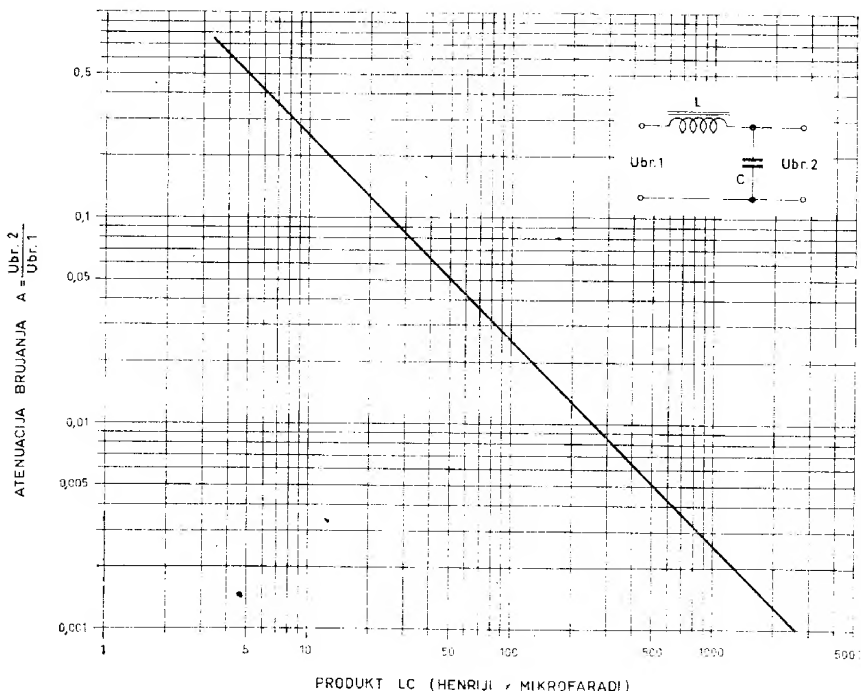
Napon brujanja (U_{br}), izražen u procentima istosmjernog napona na kondenzatoru, koji je izravno priključen na ispravljač sa puno-

valnim ispravljanjem, možemo od- rediti pomoću dijagrama na sl. 6-7. Ako je frekvencija izmjenične struje 50 Hz, što je kod nas normal- no, punovalnim ispravljanjem frek- vencija se udvostručuje pa napon brujanja ima frekvenciju 100 Hz. Uz poluvalno ispravljanje frekven- cija brujanja ostaje 50 Hz, ali onda treba vrijednosti koje se dobiju iz dijagrama podvostručiti. Kao otpor potrošača R_p , treba uzeti vrijednost koja se dobije računom kao omjer istosmjernog napona U na konden- zatoru i istosmjerne struje J koju troši uređaj:

$$R_p (\Omega) = \frac{U (V)}{J (A)}$$

ili

$$R_p (k \Omega) = \frac{U (V)}{J (mA)}$$

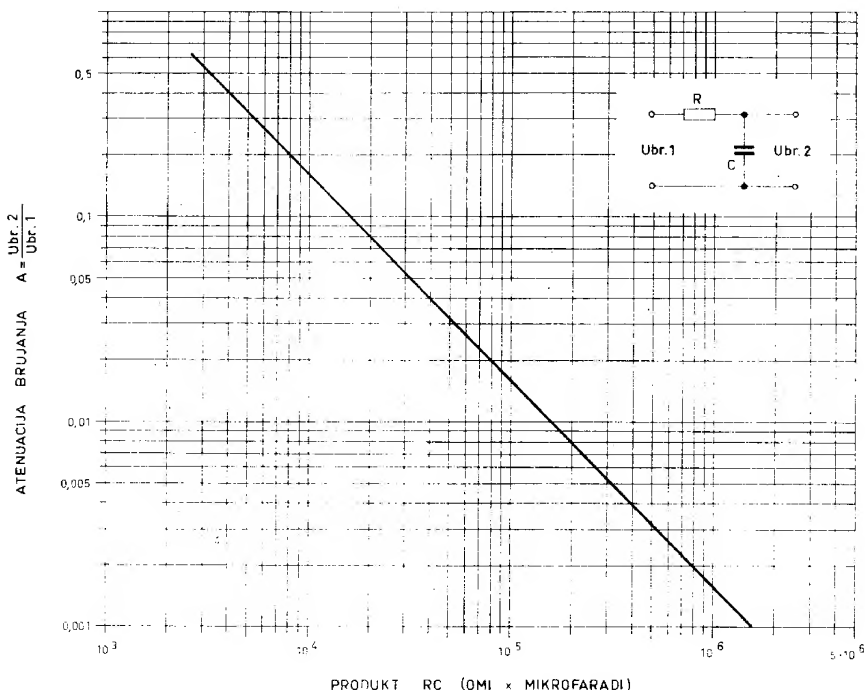


Sl. 6-8. Atenuacija (prigušenje) brujanja ispravljene struje jednočlanim LC-filerom. Dijagram vrijedi za frekvenciju 100 Hz

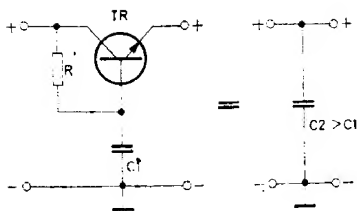
Napon se mjeri voltima (V). Ako se jakost struje mjeri amperima (A) izlazni otpor u omima (Ω). Izrazimo li jakost struje u miliamperima (mA) otpor R_p izlazi u kiloomima (k Ω).

Evo jedan primjer: Predajnik za telegrafiju ima INPUT od 40 W. Njegov izlazni stupanj troši 100 mA uz anodni napon od 400 V. To znači da taj stupanj predstavlja potrošač kojemu je otpor $R_p = 4000 \Omega$ ili 4 k Ω . Iz dijagrama vidimo da napon brujanja iznosi oko 3,5%, ako je kapacitet kondenzatora $C = 16 \mu F$. To znači da anodni napon izlaznog stupnja možemo bez ikakvog daljnje filtriranja uzimati direktno sa tog kondenzatora! Za ostale stupnjeve morat ćemo upotrebiti anodni napon koji je bolje filtriran, budući da bi za njih takvo brujanje bilo preveliko.

Ako je otpor potrošača znatno manji, kao npr. kod tranzistorskih izlaznih stupnjeva u savremenim predajnicima, možemo se poslužiti istim dijagramom (sl. 6-7). Horizontalnu skalu čitamo jednostavno kao ome (Ω) a kapacitete uzimamo hiljadu puta veće. Za primjer uzimamo tranzistorski predajnik kojemu je u izlaznom stupnju INPUT 7,2 W. Tada će, uz pogonski napon od 12 V, kolektorska struja biti 0,6 A. Podijelimo li napon sa strujom, izlazi otpor od 20 Ω . Iz dijagrama se može vidjeti da će napon brujanja, uz kondenzator od 4000 μF , biti nešto manji od 3%. To znači da za pogon takvog izlaznog stupnja nije potrebna nikakva dodatna filtracija. Za ostale stupnjeve to, dakako, ne vrijedi!



Sl. 6-9. Atenuacija (prigušenje) brujanja ispravljene struje jednočlanim RC-filtrerom. Dijagram vrijedi za frekvenciju 100 Hz



Sl. 6-10. Filterski član, sastavljen od tranzistora TR, otpornika R i kondenzatora C_1 , ima djelovanje kao kapacitet C_2 koji je znatno veći od C_1

U najviše slučajeva će biti potrebno da se ispravljeni napon bolje filtrira. Daljnje filtriranje može se postići primjenom niskofrekventne prigušnice induktiviteta L i još jednog kondenzatora. Oni zajedno formiraju filterski član, prema sl. 6-8. Tu je ujedno dijagram koji nam pokazuje koliko je smanjenje (atenuacija) brujanje. Ako je napon brujanja na ulazu takvog filterskog člana U_{br1} a na njegovom izlazu U_{br2} , atenuacija

$$A = \frac{U_{br2}}{U_{br1}}$$

ovisi o produktu induktiviteta L i kapaciteta C . Dijagram vrijedi za frekvenciju od 100 Hz kod punovalnog ispravljanja.

Često se, osobito za konstantna i ne prevelika opterećenja, umjesto prigušnice uzima otpornik. Za takve filterske članove vrijedi dijagram na sl. 6-9. Atenuacija brujanja ovisi o produktu otpora R (Ω) i kapaciteta C (μF).

Općenito se može reći: što veći kapacitet, to bolja filtracija! — Ako naš kondenzator nema dovoljno velik kapacitet? Iskusni praktičari postupaju prema sl. 6-10. Otpornik R odabire se tako da se tek dosta »otvori« tranzistor. Sklop se ponaša kao da je kapacitet mnogo puta veći!

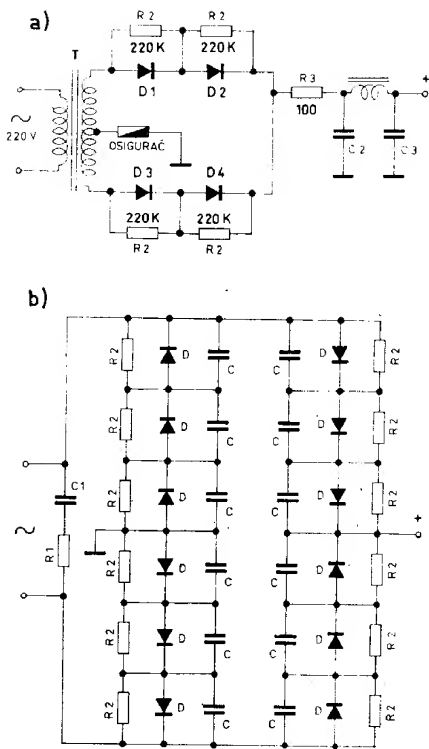
Visokonaponski ispravljači sa poluvodičkim diodama

Upotreba ispravljačkih silicijevih dioda je danas toliko raširena i općenita, da se — osobito u radio-uređajima koji su namijenjeni amaterima — ispravljačke elektronske cijevi više ne mogu naći.

Ograničen maksimalni zaporni napon (PIV), znatno niži nego li kod elektronskih cijevi, zahtijeva posebnu pažnju pri planiranju i gradnji visokonaponskih ispravljača. Ako pojedina dioda ne izdrži određeni zaporni napon, mogu se u seriju staviti dvije ili više silicijevih dioda. Obzirom na to da se kod pojedinih dioda mogu otpori u zapornom smjeru međusobno razlikovati, treba paralelno s diodama staviti otpornike od 150 do 470 k Ω (sl. 6-11). Bez njih bi se moglo dogoditi da zaoporni naponi na diodama budu različiti i da dođe do proboja.

Na sl. 6-11a otpornici R_2 služe za izjednačivanje naponskog opterećenja dioda, dok otpornik R_3 sprečava strujno preterećenje dioda u momentu uključivanja ispravljača, kad su kondenzatori C_2 i C_3 u filteru još prazni.

Za silicijeve diode mogu biti opasni i oni naponski vrhovi koji ponekad dođu iz električne mreže ili su posljedica uključivanja, odnosno isključivanja strujnih krugova koji sadrže neki induktivitet (u prvom redu sam mrežni transformator!). Da se to izbjegne dodaju se paralelno sa izvorom izmjeničnog napona kondenzatorsko-otporničke kombinacije R_1/C_1 i, povrh toga, kondenzatori C paralelno sa svakom diodom. Ovo je prikazano na sl. 6-11b. Ako su ovdje sve diode, npr. tipa BY 238, izmjenični napon može biti 1500 V. Tada kondenzator C_1 mora biti načinjen za radni napon od 2500 V, a kondenzatori C za 1000 V. Izlazni istosmjerni napon bio bi bez opterećenja nešto preko 2000 V, dok bi se kod opterećenja smanjio, zavisno o ostalim sastavnim dijelovima, osobito o transformatoru i filteru.



Sl. 6-11. Serijsko spajanje silicijevih dioda za ispravljanje većih napona. Kondenzatori C, kao i serijski spoj kondenzatora C₁ i otpornika R₁, služe kao zaštita od izuzetnih naponskih vrhova koji nastaju kod prekidanja strujnih krugova, priključenih na električnu mrežu. Otpornici R₂ osiguravaju jednoličan raspored zapornog napona na diodama, dok R₃ čuva diode od preja-ke struje koja se javlja kod uklju-čivanja ispravljača, dok su konden-zatori C₂ i C₃ u filteru još prazni

PROMJENA I STABILIZACIJA ISTOSMJERNIH NAPONA

Razdjelnici napona sa otpornicima

Ako je potreban napon U₁ koji je niži od napona U (sl. 6-12a) mo-

žemo serijski otpor R₁ izračunati pomoću Ohm-ovog zakona:

$$R_1 = \frac{U - U_1}{J_1}$$

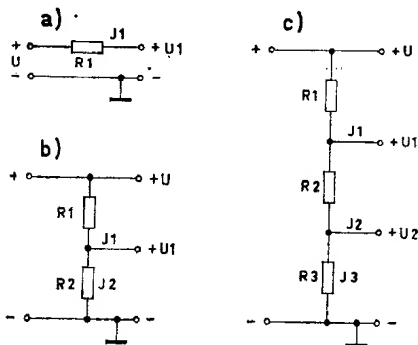
gdje je J₁ jakost struje koja teče kroz R₁. Ova jakost struje mora biti uglavnom konstantna, jer bi se ina-če i napon U₁ jače mijenjao.

Najjednostavniji djelitelj (raz-djelnik) napona sastoji se od otpor-nika, R₁ i R₂ (sl. 6-12b). Potrebne vri-jednosti otpora možemo izračunati ovako:

$$R_2 = \frac{U_1}{J_2}, \quad R_1 = \frac{U - U_1}{J_1 + J_2}$$

Jakost struje J₁ je ona koju troši potrošač uz napon U₁. Sa J₂ je ozna-čena struja koja teče kroz sam dje-litelj napona. Ako je potrošač stru-je J₁ stalan, bez promjena, J₂ može biti razmjerno slaba struja, oko 10% ukupnog potroška. Ukoliko se J₁ neprestano mijenja, potrebno je — u interesu održavanja konstant-nog napona U₁ — odabrati struju J₂ koja može biti i deset puta veća od J₁.

Trebamo li veći broj nižih napa-na, možemo načiniti višestruki dje-litelj napona. Primjer takvog djeli-telja kojim se postižu dva niža na-pona, U₁ i U₂, vidimo na sl. 6-12c.



Sl. 6-12. Smanjivanje napona: a) se-rijskim otpornikom (»predotporni-kom«); b) djeliteljem (razdjelni-kom) napona; c) višestrukim dije-ljenjem napona

Vrijednosti pojedinih otpornika dobijemo, kako slijedi:

$$R_3 = \frac{U_2}{J_3}, \quad R_2 = \frac{U_1 - U_2}{J_2 + J_3}, \quad R_1 = \frac{U - U_1}{J_1 + J_2 + J_3}$$

Ako su jakosti struja koje se crpe na odvojcima razdjelnika (J_1 i J_2) konstantne, može struja J_3 , koja teče kroz sam razdjelnik, biti slabija. Ako su ove struje promjenljive, mora struja J_3 biti jača; do deset puta više od zbroja $J_1 + J_2$.

Opterećenje pojedinog otpornika u razdjelniku napona izračunava se kao umnožak jakosti struje koja teče kroz otpor i napona na njegovim krajevima. Za primjer na sl. 6-12c to je:

$$P_3 = J_3 \cdot U_2; \quad P_2 = (J_2 + J_3) \cdot (U_1 - U_2);$$

$$P_1 = (J_1 + J_2 + J_3) \cdot (U - U_1)$$

Da se otpornici ne bi previše zagrijavali, potrebno je da im *opteretivost* bude barem dva do tri puta veća od izračunatog opterećenja.

Stabilizacija napona tinjalicama

Ako trošilo (potrošač) ne crpe stalnu struju, bolje je u razdjelnik napona uključiti posebne *stabilizatore*. Stabilizacijske tinjalice su specijalne, plinom punjene cijevi. Zovu ih još i stabilizatorcima. Napon U (sl. 6-13a) mora biti viši od tzv. napona paljenja tinjalice. Kad kroz

cijev poteče električna struja, napon »gorenja«, tj. radni napon stabilizatorke, U_1 , gotovo je neovisan o jakosti struje koja kroz nju teče.

Kroz svaku takvu stabilizatorsku cijev smije teći neka maksimalna struja (J_{maks}). Struja također ne smije biti manja od neke određene vrijednosti (J_{min}), da se cijev ne bi »ugasila«. Pri određivanju vrijednosti otpornika R_1 treba misliti na to da cijev ne bude preterećena ni onda, ako se kod U_1 struja nikako ne troši. Na R_1 mora, osim toga, pad napona biti jednak razlici $U - U_1$, pa je dakle:

$$R_1 = \frac{U - U_1}{J_{maks}}$$

Čim se kod U_1 crpe struja, njen tok kroz stabilizatorku E oslabi, ali napon U_1 ostaje praktički konstantan. Treba samo paziti da se ne crpe struja koja bi bila jača od razlike $J_{maks} - J_{min}$.

Trebamo li više stabiliziranih napona, možemo upotrebiti više stabilizatorskih cijevi. Na sl. 6-13b su dvije takve cijevi spojene u seriju. Napon U_2 određen je stabilizatorom E_2 , a napon U_1 jednak je zbroju napona na obim cijevima. Otpornik R_1 određuje se na jednak način kao u predašnjem primjeru. Drugi otpornik (R_2) ima velik otpor (0,1 do 0,5 MΩ) i služi samo zato da bi se olakšalo paljenje tinjalice.

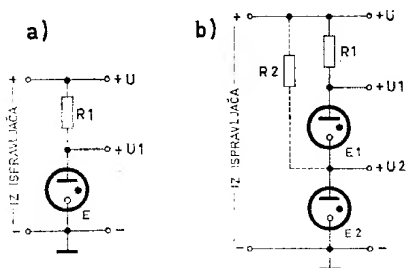
Opterećenje otpornika R_1 u svakom slučaju iznosi

$$P = J_{maks} (U - U_1),$$

dok njegova opteretivost mora biti barem dva do tri puta veća. Kao R_2 dobro će poslužiti poluvatni otpornik.

Ukupan potrošak struje, kod U_1 i U_2 zajedno, ne smije preći razliku $J_{maks} - J_{min}$, ovisno o upotrebljenim stabilizatorskim cijevima E_1 i E_2 .

I tinjalice se sve manje primjenjuju, ali ih se ipak može naći u nekim uređajima. Dobro služe za stabilizaciju napona između 70 i 150 V. Serijskim spajanjem mogu stabilizirati i više napone.

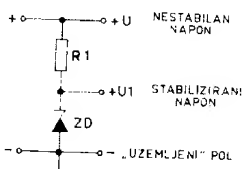


Sl. 6-13. Stabilizacija napona specijalnim, plinom punjenim cijevima, tzv. tinjalicama: a) s jednom; b) s dvije stabilizatorske tinjalice

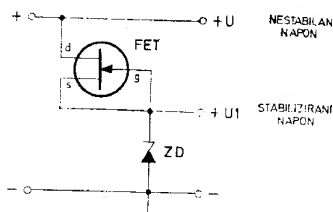
Primjena Zenerovih dioda

Zenerove diode se u strujnim krugovima ponašaju slično stabilizatorskim tinjalicama. Pad napona na njima, u određenim uvjetima, ostaje praktički konstantan, bez obzira na jakost struje koja kroz njih teče. Zato se i one mogu primijeniti za stabilizaciju napona (sl. 6-14). Predotpor R_1 odabire se na sličan način, kao kod tinjalica:

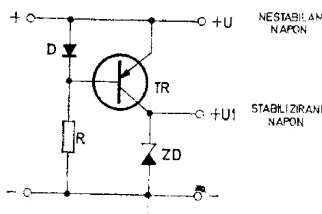
$$R_1 = \frac{U - U_1}{J_{maks}}$$



Sl. 6-14. Primjena Zenerove diode za stabilizaciju napona



Sl. 6-15. Unipolarni tranzistor, FET, osigurava napajanje Zenerove diode konstantnom jakošću struje pa je stabilizacija bolja



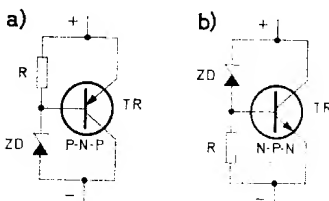
Sl. 6-16. Bipolarni (»obični«) tranzistor PNP-tipa, uz pomoć diode D i otpornika R, također napaja Zenerovu diodu ZD konstantnom strujom, osiguravajući bolju stabilizaciju napona

Jakost struje J_{maks} je najveća struja koja smije teći kroz Zenerovu diodu, što je ovisno o tipu. Napon U je najveća očekivana vrijednost nestabilnog napona, a U_1 pad napona na samoj »zenerici« koji je jednak korisnom, stabiliziranom naponu.

Ukoliko su promjene nestabilnog napona prevelike, mijenjat će se jakost struje koja teče kroz Zenerovu diodu, pa će to utjecati i na stabilnost napona koji nam je potreban. Na sl. 6-15 je serijski predotpornik zamijenjen FET-om. Ako se, naime, kod FET-a gejnt (g) i surs (s) međusobno spoje, onda je struja koja teče kroz taj poluvodički element konstantna, tj. neovisna o naponu. Tako će kroz ZD teći struja koja se ne mijenja i kod jačih promjena nestabilnog napona. Stabilizirani napon je onda znatno konstantniji.

Slično se može postići pomoću bipolarnog tranzistora (TR , sl. 6-16) kojemu diodom D osiguramo konstantni napon između njegove baze i emitera. Otpornik R treba da osigura toliko jaku struju, da pad napona na diodi D dođe u područje u kojemu se on vrlo malo mijenja.

Ako Zenerova dioda ZD (sl. 6-17) može stabilizirati napon samo uz malo strujno opterećenje, možemo dodatnim tranzistorom TR (bilo PNP-tipa, bilo NPN-tipa) načiniti »jaču zenericu«. Otpornik R odgo-



Sl. 6-17. Ovakav sklop Zenerove diode, tranzistora i jednog otpornika ponaša se kao jača Zenerova dioda i podnosi veća opterećenja; a) s tranzistorom tipa PNP; b) s tranzistorom tipa NPN

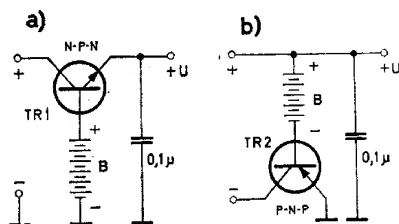
vara onome na sl. 6-14. Tranzistor se uzima prema željenom opterećenju, a sve zajedno priključuje se samo na dvije tačke, kao da se radi o pravoj Zenerovoj diodi! Dakako, i tu treba dodati odgovarajući pred otpornik, u seriju sa ovom »sintetskom« stabilizatorom.

Stabilizacija napona s tranzistorima

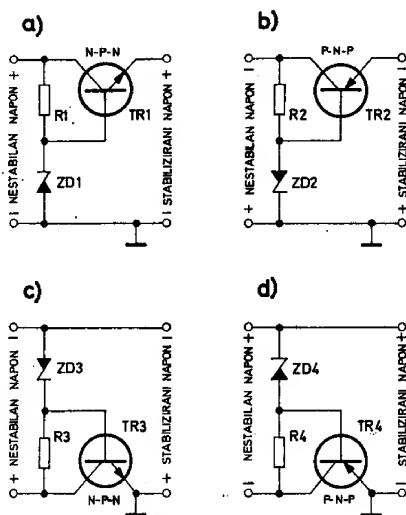
Najprije su tranzistori za stabilizaciju napona bili upotrebljeni prema sl. 6-18. Suha baterija malog kapaciteta B služila je samo kao referentni izvor napona. Tu je iskorišteno svojstvo tranzistora da u spoju »emitorskog slijedila« (emitter follower) na svom izlazu vjerno i bez pojačanja prenosi »signal« sa baze. Zato je napon U gotovo jednak naponu baterije B . Konstantan je baš koliko i taj referentni napon.

Referentni napon, dobiven Zenerovom diodom, ne mijenja se, za razliku od baterije, ni poslije vrlo dugog vremena, pa je njena upotreba prikazana na sl. 6-19 u četiri varijante sa različitim tipovima tranzistora.

Svakome, koji eksperimentira s različitim uređajima, potrebni su stabilni naponi različite visine. To nam omogućuju stabilizatori koji su



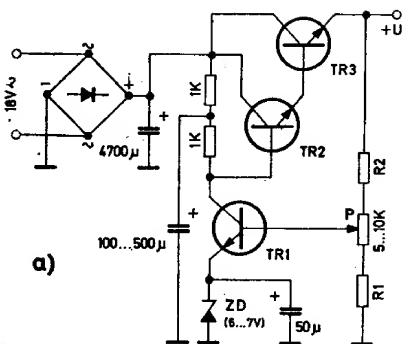
Sl. 6-18. Tranzistor u spoju emitorskog slijedila (emitter follower) može biti vrlo dobar stabilizator uz uvjet da je spojen sa izvorom stabilnog »referentnog« napona. Taj napon su nekada davale posebne baterije



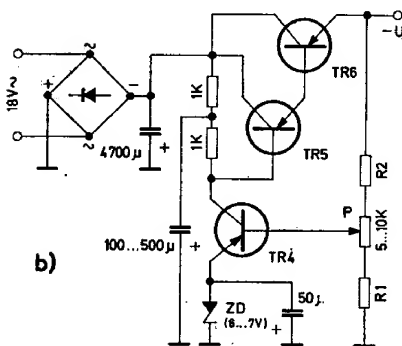
Sl. 6-19. Danas se kao izvor referentnog napona isključivo koristi Zenerova dioda: a) stabilizator s tranzistorom NPN-tipa i uzemljenim negativnim polom; b) tranzistor je PNP-tipa, a uzemljen je pozitivan pol; c) i tu je uzemljen »plus« uz primjenu tranzistora NPN; d) stabilizacija se postiže PNP-tranzistorom. Uzemljen je »minus« stabiliziranog napona

shematski, u principu, prikazani na sl. 6-20a i b. Prvi ima uzemljen negativni pol napona i tranzistore NPN-tipa. Drugome je pozitivan pol uzemljen, a upotrebljeni su tranzistori PNP-tipa.

Tranzistori TR_2 i TR_3 , odnosno TR_5 i TR_6 , formiraju Darlingtonove parove s velikim strujnim pojačanjima. Tranzistor TR_1 , odnosno TR_4 , ima zadatak da upoređuje napon na razdjelniku $R_1/P/R_2$ sa referentnim naponom zenerice ZD . Svaka promjena napona U prenosi se na taj tranzistor koji, upravljajući sa Darlingtonovim parom, popravlja i održava izlazni napon konstantnim. Potenciometrom P možemo — u određenim granicama — mijenjati po volji visinu napona U .



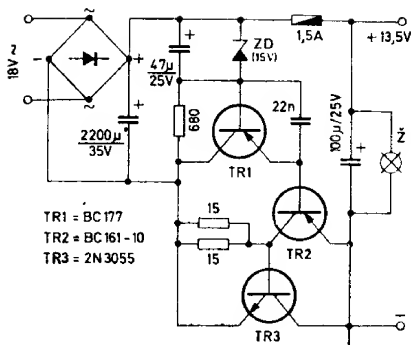
a)



b)

Sl. 6-20. Darlingtonovi parovi tranzistora, uz treći tranzistor koji služi kao komparator (upoređivač) napona, u stabilizatorima napona: a) s tranzistorima NPN-tipa i »vrućim« pozitivnim polom. Negativni pol napona je uzemljen; b) tranzistori su tipa PNP, negativni pol je »vruć«, dok je pozitivni uzemljen. Prvi nazivamo »pozitivnim«, a drugi »negativnim« stabilizacijskim sklopom

Shema stabilizatora, sl. 6-21, kao da je postavljena »naglavce«. U principu je svejedno koji pol izlaznog, stabiliziranog napona uzemljimo, ako to samo pravilno učinimo. I ovdje Zenerova dioda ZD daje referentni napon. Ovaj se prenosi na tranzistore TR_1 i TR_2 koji su međusobno spojeni na Darlingtonov način, umnažajući svoja strujna pojačanja. Ovisno o potrošku, kroz



TR1 = BC177
TR2 = BC161-10
TR3 = 2N3055

Sl. 6-21. Sklop »pozitivnog stabilizatora«, kod kojega je kolektor posljednjeg tranzistora u stabilizacijskom lancu (TR_3) uzemljen i spojen izravno na hladilo, u kontaktu je sa šasijom

otpor od 7,5 Ω (dva otpornika od po 15 Ω , vezana paralelno!) teče jača ili slabija struja koja više ili manje »otvara« tranzistor TR_3 . Ovaj ne mora biti izoliran od hladnjaka, jer mu je kolektor uzemljen!

Integrirani sklopovi u stabilizatorima napona

Daleko veće pojačanje nego Darlingtonovim parovima postiže se operacijskim pojačalima. Domaće operacijsko pojačalo IL 741 služi u stabilizatoru napona, sl. 6-22, kao tzv. komparator, tj. upoređuje dio izlaznog napona (sa potencimetra P) s referentnim naponom Zenerove diode ZD, upravljajući istovremeno s tranzistorom TR. Veličinu izlaznog napona U_2 možemo potencimetrom odabrati prema potrebi. Napon U_1 potječe iz ispravljača.

Za praktičnu upotrebu najpogodniji su stabilizacijski »integrirci« koji sadrže sve potrebne elektroničke elemente, a priključuju se samo na tri točke, tj. na tri priključna kontakta. Izgled nekih od njih i raspored priključaka vidimo na sl. 6-23. Oni u manjim kućistima smiju se, razumije se, manje opteretiti od

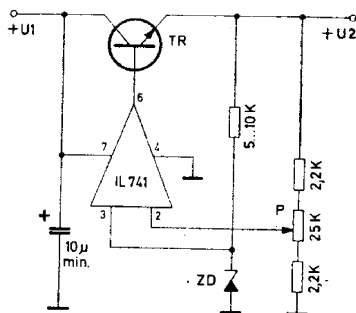
onih u većim kućištima. Za puno opterećenje, predviđeno za određenu izvedbu, obično treba upotrebiti dovoljno veliko hladilo (hladnjak).

Upotreba je vrlo jednostavna. Na sl. 6-24 je tzv. *pozitivni stabilizator* (sa uzemljenim negativnim polom!). Ispravljačke diode D_1 i D_2 mogu se svojim anodnim priključnicama spojiti izravno na »minus«. Ako je stabilizator predviđen za veća strujna opterećenja, mogu i ispravljačke diode biti učvršćene na isto hladilo. Pri tome i diode i kućište stabilizatora dolaze u direktan, vodljivi kontakt sa hladilom!

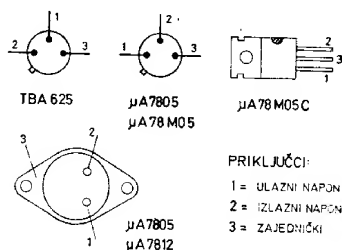
Odgovarajuća serija »negativnih« stabilizatora ima oznaku koja počinje brojem »79...« Shema takvog stabilizatora je na sl. 6-25. Tu su i ispravljačke diode drugačije spojene!

Isti rezultat, tj. uzemljen pozitivni pol, kao kod predašnjeg primjera, može se postići i »pozitivnim« stabilizatorom (serije »78...«) prema sl. 6-26. Razlika je u tome da se sada kućište stabilizatora mora izolirati od uzemljene metalne šasije.

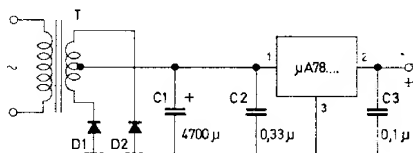
Ovi integrirani stabilizatori imaju ograničenu opteretivost, ovisno o tipu i kućištu, kao i o uspješnosti hlađenja. Ako želimo stabiliziran napon uz jače struje treba dodati neki odgovarajući tranzistor (sl. 6-27). Ovaj može biti silicijev ili germanijev izlazni tranzistor. Na slici je i formula za izračunavanje veličine otpornika R_1 . Ona vrijedi za silicijeve tranzistore. Za germanijeve treba u brojniku uzeti vrijednost 0,4 umjesto 0,9. Kada se kod »+U« crpe struja, onda kod malih jakosti tu struju daje sam stabilizator. Tek kada potrošak struje naraste toliko, da pad napona na R_1 postane dovoljno velik da se »otvara« tranzistor TR , poteći će struja i preko njega. Na ovom mjestu su se pokazali vrlo dobrima germanijevi domaći tranzistori u TO-3 kućištu (»Ei-Niš«), sa oznakama »AD...«. Važno je da oba nacrtana kondenzatora (od 0,33 μF i 0,1 μF) budu



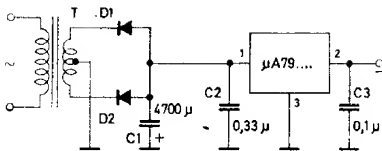
Sl. 6-22. Princip primjene operacijskog pojačala (integriranog sklopa IL741) kao komparatora i upravljača stabilizacijskim tranzistorom TR . Ako nije potrebna struja jača od 15 do 20 mA, priključak br. 6 integriranog sklopa spaja se direktno na izlaznu priključnicu (+U₂), a tranzistor se može izostaviti



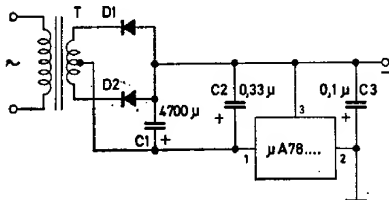
Sl. 6-23. Pregled oblika kućišta i priključaka »tronožnih« stabilizacijskih integriranih sklopova (integriranih kola)



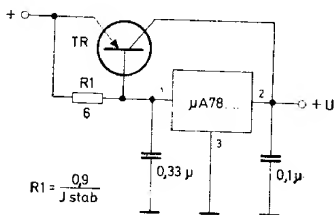
Sl. 6-24. Jednostavan ispravljač sa stabilizacijom napona pomoću integriranih sklopova, označenih brojkama »78...« — Oznake 7805, 7808, 7812, 7815,... pripadaju takvim »integriranim« za napone od 5, 8, 12, 15... volta. Vidi i tekst



Sl. 6-25. Za razliku od stabilizatora serije »78...« koji su »pozitivni«, serija tronožnih negativnih integriranih stabilizatora ima oznake, 7905, 7908, 7912, 7915 itd. Upotreba im je jednostavna a stabilnost napona vrlo dobra



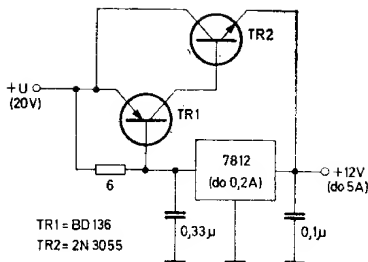
Sl. 6-26. I pozitivni stabilizator se može upotrebiti za stabilizaciju negativnih napona! Onda se, dakako, priključnica br. 3 ne može uzemljiti, jer mora biti uzemljen pozitivan pol napona. Vidi tekst



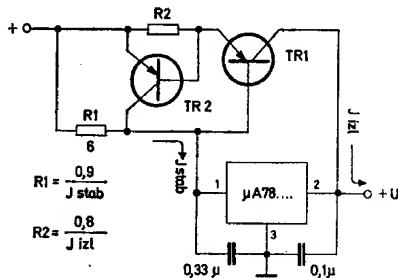
Sl. 6-27. Ako integrirani stabilizator napona ne može dati toliko jaku struju kolika nam je potrebna, možemo dodati PNP-tranzistor, sposoban za jača opterećenja

priključeni tijesno uz sam stabilizator. Onda mogu dovesti do i od TR biti i malo duži.

Nemamo li pri ruci pogodan PNP-tranzistor, a potrebna nam je npr. struja od 5 A uz napon od 12 V, upotrijebit ćemo dva dodatna tran-



Sl. 6-28. Nemamo li dovoljno jak PNP-tranzistor, možemo umjesto njega uzeti slabiji PNP-tranzistor u kombinaciji sa jačim NPN-tranzistorom. Ova se kombinacija ponaša kao jedan jaki tranzistor PNP-tipa



Sl. 6-29. Sklop za osiguranje protiv kratkog spoja i preterćenja

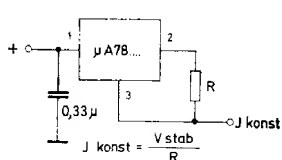
zistora (sl. 6-28): slabiji PNP-tranzistor TR_1 (BD136) i jači NPN-tranzistor TR_2 (2N3055). Tranzistori TR_1 i TR_2 čine ovdje jedan par koji se ponaša kao PNP-tranzistor velike opteretivosti. Stabilizator je sa oznakom »7812«, dakle za 12 V stabiliziranog napona. Uz puno opterećenje izlaza sa 5 A kroz sam stabilizator neće teći ni 0,2 A struje. Ostatak daju dodatni tranzistori, osobito TR_2 koji mora biti montiran na hladilo i izoliran od njega.

Sam stabilizator je načinjen tako da mu povremeni kratak spoj ne škodi, ali time nije zaštićen dodatni tranzistor na shemi sl. 6-27 i sl. 6-28. Ukoliko ne predvidimo rastalni osigurač, možemo dodati elektroničku zaštitu, prema sl. 6-29. Tranzistor

TR_1 odgovara onome TR na sl. 6-27. Dodatnom tranzistoru TR_2 povjere-
na je zaštita od preterećenja. Ako
struja koju crpemo kod »+U« po-
stane prejaka, pad napona na ot-
porniku R_2 otvori tranzistor TR_2 ,
pa ovaj više ili manje (ovisno o
struji J_{ust}) kratko spaja otpornik R_1 ,
smanjujući mogućnost toka struje
kroz TR_1 .

Integrirani stabilizator napona kao stabilizator struje

Pomoću unipolarnog (FET, sl. 6-15) ili pomoću manjeg bipolarnog tranzistora (TR , sl. 6-16) mogu se dobiti jakosti struje koje su gotovo neovisne o veličini električnog napona, ali ako želimo još bolju stabilnost struje kojoj — osim toga — možemo u širim granicama odabrati jakost, poslužiti ćemo se integriranim naponskim stabilizatorom prema sl. 6-30. Najčešće za ovakvu svrhu odgovara stabilizator za neki niži napon, npr. TBA625 ili $\mu A7805$. Ovi daju napon od 5 V. Potrebnu jakost stabilizirane struje (u amperima) lako je izračunati prema formuli sa slike, uz zgodno odabrani otpornik R (u omima). Stavimo li u račun R u kiloomima, izlazi struja J_{konst} u miliamperima! Vidimo da postoji mogućnost odabiranja jakosti struje, koja ostaje približno konstantna, sve do maksimuma koji je dopušten za određeni stabilizator (ovisno o veličini kućišta i o hlađenju stabilizatora). Formula na sl. 6-30 vrijedi samo za razmjerno veće jakosti struje jer u njoj nije uračunata struja koja teče preko zajed-



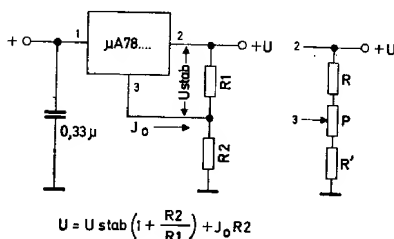
Sl. 6-30. Stabilizator napona kao sredstvo za postizavanje konstantne jakosti struje

ničkog izvoda (br. 3). Zato je i stabilnost kod malih jakosti struja mnogo lošija.

Izbor stabiliziranog napona prema potrebi

Opisani integrirani stabilizatori sa oznakama 7805, 7808, 7812, 7815... daju samo određene napone od 5, 8, 12, 15 V... Ako su nam potrebni drugačiji naponi jednake stabilnosti, upotrebit ćemo takve stabilizatore kako to pokazuje sl. 6-31. Pri tome priključak br. 3 nije više uzemljen (na »minusu«), već je doveden na razdjelnik napona R_1/R_2 . Stabilizirani napon »+U« ovisi o izboru tih otpornika. U laboratoriju je često potrebno da taj izlazni stabilni napon, od slučaja do slučaja, promijenimo. To se postiže razdjelnikom napona u koji je uključen potencijometar P . Otpornici R i R' određuju gornju i donju granicu napona. Stabilizator je sada potrebno izolirati od hladila! Tako se stabilizatorom koji je građen za napon od 5 V može dobiti izlazni napon od 5 V (ovisno o razdjelniku napona) sve do preko 15 ili više volta!

»Elegantnije rešenje«, kako bi to radio-amateri rekli, postiže se primjenom operacijskog pojačala ($\mu A 741$ ili IL 741), kako se to vidi na sl. 6-32. Nestabilan napon iz ispravljača koji se dovodi na »+«



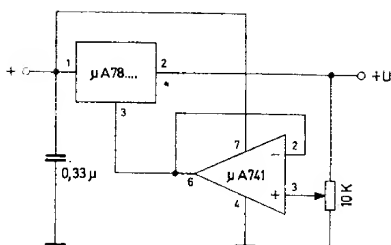
Sl. 6-31. Iako je integrirani stabilizator s tri priključka predviđen da daje jedan, čvrsto određen napon, moguće je postići i veće napone. Vidi tekst

treba biti *barem* 3 V viši od najvišeg stabiliziranog napona »+U«. Višinu izlaznog napona odabire se potencijometrom od 10 k Ω . Taj napon ne može biti *niži* od onoga za koji je načinjen stabilizator.

Trebaju li nam i niži naponi od onoga koji je određen samim stabilizatorom, korisno je poslužiti se sklopom koji je u principu prikazan na sl. 6-33. Tu je opet operacijsko pojačalo »741« i potencijometar za odabiranje napona. Za opseg od +0,5 V do 10 V potrebna su dva izvora: jedan sa naponom između +13 do 25 V i drugi sa (negativnim naponom u odnosu na »šasiju« koja je uzemljena) između -7 i -17 V.

Ispravljač koji daje i pozitivan i negativan napon nije teško načiniti. Jednu takvu mogućnost vidimo na sl. 6-34. Mrežni transformator ima na sekundarnoj strani namotaj sa odvojkom u sredini. Za ispravljanje služi tzv. »Graetz-ov most« (Grecov most). Kondenzator C_1 ima uzemljenu svoju pozitivnu, a kondenzator C_2 svoju negativnu »stranu«, pa je prvi izvor negativnog, a drugi izvor pozitivnog napona.

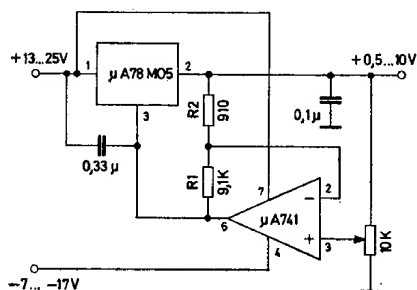
Na ovoj su slici stabilizator i operacijsko pojačalo u drugačijem međusobnom spoju. U ovom primjeru su nam na raspolaganju dva napona. Jedan je u odnosu na neutralnu priključnicu (\mp) pozitivan



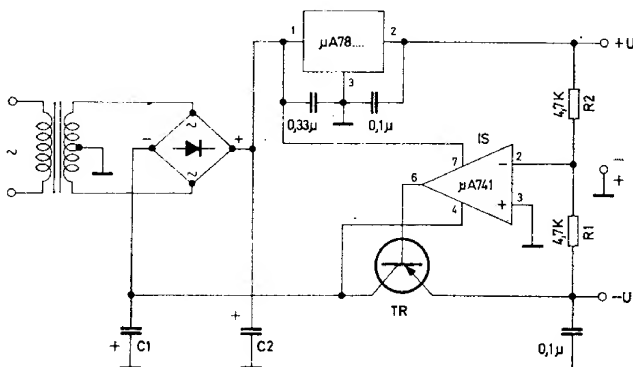
Sl. 6-32. Operacijsko pojačalo ovdje služi za izbor visine stabiliziranog napona

(»+U«), dok je drugi napon negativan (»-U«).

Razumije se da ovi stabilizatori nisu jedini, ali za primjenu sigurno



Sl. 6-33. Sklop za odabiranje stabiliziranog napona u većem rasponu, od 0,5 do 10 V, primjenom 5-volt-nog stabilizatora. Vidi tekst



Sl. 6-34. Ispravljač sa dva napona suprotnog predznaka

su najpraktičniji, budući da — u najjednostavnijem slučaju — uopće ne trebaju nikakvih dodatnih dije-
lova.

Više zahtijeva u tome pogledu ima integrirani sklop sa oznakom »723« ili »123«. Stabilizacija koja se s njim postiže je osobito dobra. On omogućuje višestruku primjenu, ali treba dodati još elemenata izvan njega. Taj sklop i jednu od njegovih primjena upoznat ćemo malo kasnije (sl. 6-39 i sl. 6-40).

Odabrane sheme ispravljača za samogradnju

Iako će se amater i tehničar i sa dosadašnjim shemama stabiliziranih ispravljača moći poslužiti za samogradnju i za različite primjene, ovdje još prikazujemo posebno odabrane ispravljače koji su bili sagrađeni u više primjeraka, za maksimalne jakosti struja od do 2, pa sve do 20 A. Namijenjeni su za laboratorijske potrebe, ali također za pogon mnogih tranzistorskih uređaja, osobito primopredajnika za KV i UKV do blizu 200 W INPUT-a.

Na sl. 6-35 vidimo da Zenerova dioda ZD1 služi kao uzorak stabilnog napona. Tranzistor TR_2 upoređuje taj uzorak sa dijelom izlaznog napona (na potencijometru P_1) i svaku promjenu prenosi na tranzistor-
ski niz TR_3 , TR_4 i TR_5 .

Tranzistori TR_4 i TR_5 čine »Darlingtonov par«. Zajedničko strujno pojačanje kod takvog para jednako je umnošku strujnih pojačanja upotrebljenih tranzistora. Ako na jednak način dodamo i treći tranzistor, TR_3 , ukupno strujno pojačanje »tranzistorske trojke« jednako je umnošku svih triju strujnih pojačanja.

Ima li tranzistor TR_5 strujno pojačanje koje iznosi, npr. 50, onda kroz tranzistor TR_4 mora teći samo 50 puta manja struja od one koju želimo dobiti iz ispravljača. Tranzistor TR_3 mora dati struju koja je od toga još manja (za vrijednost strujnog pojačanja tranzistora TR_4). Otuda slijedi da samo tranzistor TR_3 mora izdržati čitavo strujno opterećenje, dok ostali mogu biti manji. Tipičan izbor tranzistora bi bio:

	TR_5 :	TR_4 :	TR_3 :
za opterećenje do 5 A:	2N3055	2N3054	2N3053
za opterećenje do 2 A:	2N3055	BC 141	BC 108C

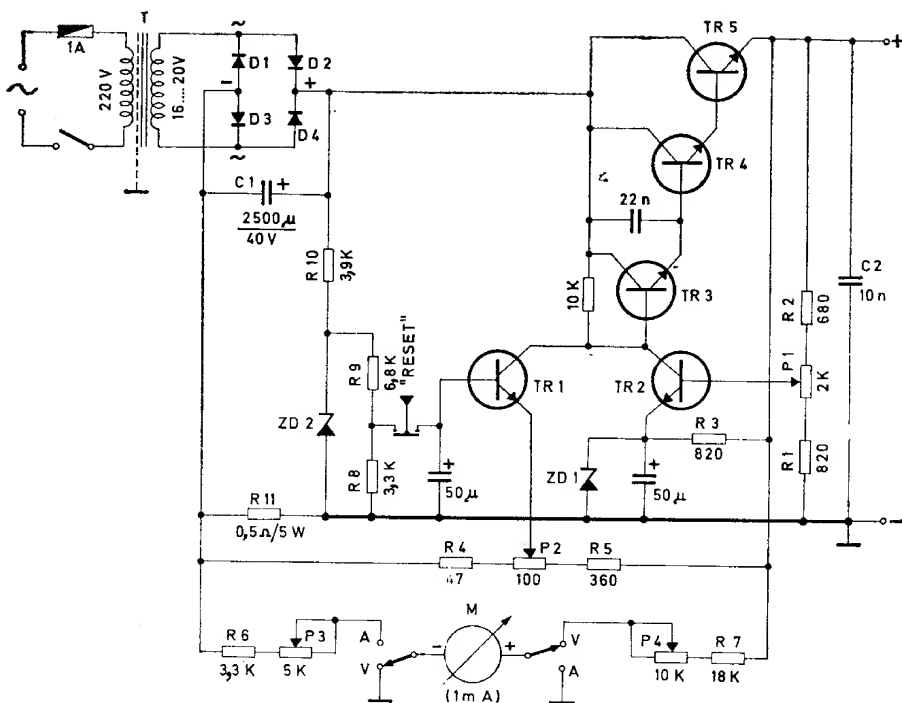
Razumije se, da se umjesto navedenih tipova tranzistora mogu upotrebiti i drugi slični tranzistori.

Tranzistor TR_2 treba također imati veliko strujno pojačanje (BC 107C ili sličan).

Tranzistor koji je označen kao TR_1 ne sudjeluje u stabilizaciji. Njegova baza ima potencijal koji je, prema emiteru, toliko nizak da kroz TR_1 ne može teći struja. U tom stanju njegova prisutnost nema utjecaja.

Kroz otpornik R_{11} , koji je uključen u negativni vod između minus-

pola elektrolitskog kondenzatora i uzemljene negativne priključnice, teče sva jakost struje. Pad napona na njemu ovisi o opterećenju ispravljača. Ako ispravljač opteretimo preko neke granice, pad napona na R_{11} toliko poraste, da se promijeni potencijal emitera tranzistora TR_1 (ovisno o položaju kliznog kontakta na potencijometru P_2) i on provede električnu struju. Pri tome, na tranzistoru TR_1 , napon između kolektora i emitera toliko padne da je i tranzistor TR_2 gotovo kratko spojen. Kako padne potencijal ko-



Sl. 6-35. Niskonaponski ispravljač koji daje stabilizirani napon od 7 do 24 V (vidi opis u tekstu), uz opterećenje između 1 i 3 A. Ima ugrađen elektronički osigurač protiv preterućenja

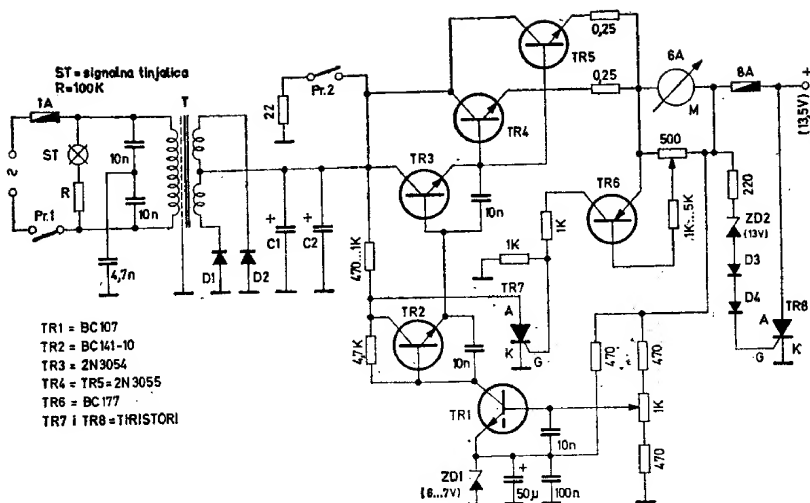
lektora u TR_1 , tako padne i potencijal kolektora u TR_2 . Istovremeno padne i izlazni napon ispravljača. Na taj način je ispravljač zaštićen i od kratkog spoja i od preopterećivanja.

Ako uklonimo kratki spoj, izlazni napon ostaje i dalje isključen, sve dok ne pritisnemo tipku »RESET«. Tu je kontakt koji se pritiskom otvara. Izlazni napon se »vraća« i ispravljač je opet sposoban za rad. Potencijetrom P_2 može se odabrati ona jakost struje kod koje će elektronički osigurač isključiti uređaj, dok se potencijetrom P_1 odabire visina napona koji nam treba. Obzirom na to da visina izlaznog napona, uz stalan položaj potencijetra P_2 , također djeluje na elektronički osigurač, ovaj sta-

bilizirani ispravljač je dobro upotrebljavati uz jedanput odabrane radne uvjete.

Transformator T mora imati primarnu zavojnicu koja je predviđena za napon izmjenične električne mreže. Na svojoj sekundarnoj strani mora dati potreban napon, za 30 do 50% viši od najviše vrijednosti stabiliziranog istosmjernog napona koji želimo postići. Opteretivost transformatora mora također odgovarati jakosti struje koja nam je potrebna.

Silicijeve ispravljačke diode D_1 , D_2 , D_3 i D_4 također treba odabrati prema potrebnoj jakosti struje. Filtracija ispravljenе struje samo jednim elektrolitskim kondenzatorom od 2500 μF dovoljna je za maksimalnu jakost struje oko 2 A. Za



Sl. 6-36. Ispravljač sa izlaznim, stabiliziranim naponom od 13,5 V. Opterećenost mu je do 6 A ili više, vidi tekst. Ima dvostruki elektronički osigurač: protiv prejake struje i kratkog spoja, te protiv previsokog napona

struju do 5 A taj kapacitet mora biti najmanje 5000 μF . Zenerove diode ZD_1 i ZD_2 su međusobno jednake i moraju biti za napon koji je barem 1 V niži od potrebne najniže vrijednosti napona.

Mjernim instrumentom M može se mjeriti ili napon ili struja. Pokazivanje jakosti struje regulira se, jednom za stalno, potencijometrom P_3 , a pokazivanje napona potencijometrom P_4 . Najbolje je da P_2 , P_3 i P_4 budu trimerski potencijometri, dok jedino P_1 treba posluživati dugmetom izvana.

Budući da je transformator T' (sl. 6-36), prema namjeni, dopuštao trajno opterećenje do 5 A i povremeno, kratkog trajanja do 6 A, ovaj ispravljač daje do 6 A istosmjerne struje. Uz jači transformator bi se sa istim tranzistorima mogle dobiti struje i do 10 A. U tome slučaju transformator bi na svojoj sekundarnoj strani morao, uz toliko strujno opterećenje, davati napon od $2 \times 17,5$ V. Manji napon nije dovoljan za dobru stabilizaciju, dok bi veći napon bio uzrokom jačem

zagrijavanju izlaznih tranzistora (TR_4 i TR_5).

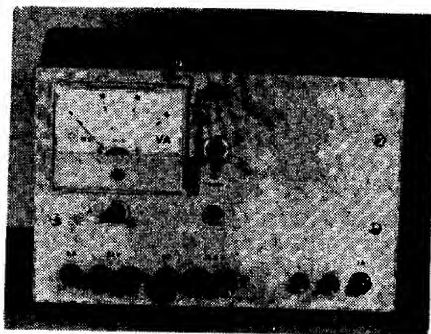
Tranzistori TR_4 i TR_5 su međusobno paralelno spojeni. Među njima ima uvijek razlika pa je za postizavanje podjednakog strujnog opterećenja potrebno u emiserski strujni krug svakoga od njih staviti po jedan otpornik od približno $0,25 \Omega$. Tranzistor TR_3 sa TR_4 i TR_5 čini opet Darlingtonov par. Kao i u predašnjem primjeru, TR_3 upravlja sa izlaznim tranzistorima. Njime upravljaju preostala dva, TR_1 i TR_2 . Regulacija u principu odgovara regulaciji koja se nalazi i u ispravljaču na sl. 6-35. Razlika je u upotrebi *samo dviju dioda* za ispravljač. D_1 i D_2 moraju biti dimenzionirane za jakost struje koju želimo crpsti iz ispravljača, a učvršćene su izravno na hladilu gdje se nalaze i tranzistori TR_3 , TR_4 i TR_5 . Razlika je još u tome da tu postoje *elektronički osigurači sa tiristorima*.

Od prejake struje štiti osigurač u kojemu su tranzistor TR_6 i tiri-

stor TR_7 . Kada struja, koja se uzima iz ispravljača, pređe odabranu granicu, provede tranzistor TR_6 i okine tiristor TR_7 . Ovaj kratko spoji kolektor tranzistora TR_2 na šasijsku pa izlaznog napona više nema. Tek kada struju prekinemo kod Pr. 1, zatvori se Pr. 2 i izbije elektrolitske kondenzatore C_1 i C_2 , i tako isključimo ispravljač, možemo ga ponovno uključiti (»resetirati«). Napon se ponovno javi, ako je uklonjen uzrok preterćenja. Za okidanje tiristora TR_7 na opisani način koristimo pad napona na ampermetru M. Jedan njegov dio, potencijetrom od 500 Ω , dovodimo bazi tranzistora TR_6 .

Uz uvjet da nas kod ovog ispravljača interesira samo jedna stalna vrijednost izlaznog napona (npr. +13,5 V) možemo ugraditi još i osiguranje od prevelikog napona koji bi se na izlaznim priključnicama mogao pojaviti u slučaju da dođe do unutrašnjeg proboja u regulacijskim tranzistorima TR_4 i TR_5 . Izlazni napon je onda jednak naponu na kondenzatorima C_1 i C_2 , što može biti opasno za priključene uređaje. Zaštitu pruža resistor TR_8 . Zenerovu diodu ZD_2 i silicijevu diodu D_3 , D_4 (eventualno još koju k tome) odabiremo tako da tiristor TR_8 bude okinut čim izlazni napon dosegne neku unaprijed određenu vrijednost, npr. 15 V. Kad se to dogodi, tiristor predstavlja pravi kratki spoj, uslijed kojega u momentu pregori rastalni osigurač (npr. od 8 A). Razumije se da tiristore treba odabrati tako da mogu podnijeti struje i napone kojima će biti opterećeni.

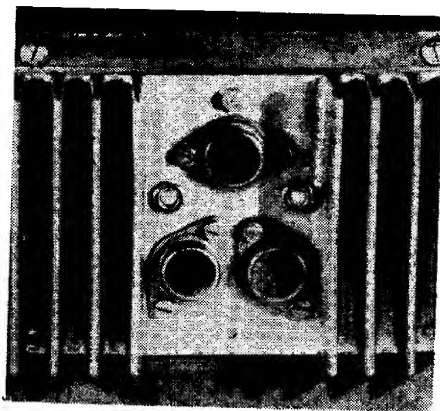
Na stabilnost izlaznog napona ne utječu padovi napona na emiterkim otpornicima i na ampermetru, jer se razdjelnik napona za regulaciju (sa potencijetrom od 1 k Ω od kojega se upravlja sa TR_1) spaja iza ampermetra. Regulacija na taj način »uzima u obzir« i te padove napona pa se oni ne pojavljuju na izlazu ispravljača!



Sl. 6-37. Izgled ispravljača, prema sl. 6-36, s prednje strane

Prednju stranu ovog ispravljača vidimo na sl. 6-37, a njegovu stražnju stranu na sl. 6-38. Na masivnom aluminijumskom, rebrastom hladilu vide se tri tranzistora 2N3055 (treći je umjesto 2N3054, kojega nije bilo pri ruci, HI). Iznutra su na istom hladilu i diode D_1 i D_2 .

Integrirani sklop tipa »723« sa drži Zenerovu diodu koja sa pojačalom P.R., a napajana konstantnom strujom, osigurava izvanredno stabilan referentni napon U_{ref} , neovisan o temperaturi. Pojačalo P.G.

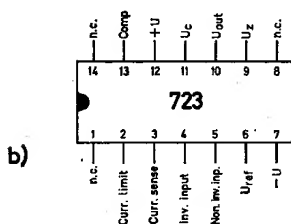
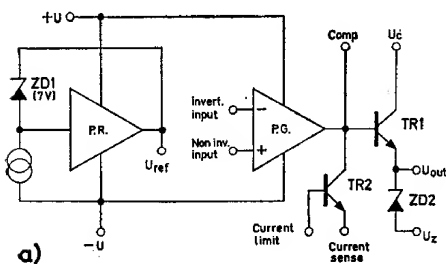


Sl. 6-38. Isti ispravljač straga. Na masivnom aluminijumskom, rebrastom hladilu vide se tri tranzistora i matice kojima su učvršćene ispravljačke diode

ima dva ulaza. Signal doveden na jedan od njih imat će na izlazu izmijenjenu fazu (*invertiranu*), a na drugi neizmijenjenu (*neinvertiranu*). Ugrađeni tranzistori (sl. 6-39a) i dioda ZD_2 omogućuju raznolik primjenu u stabiliziranim ispravljačima.

Razlikujemo dvije izvedbe. Jedna je u plastičnom »DIL« (Dual-In-Line) kućištu sa 14 nožica (sl. 6-39b), dok druga ima metalno kućište, donekle slično TO-5 kućištu tranzistora, sa 10 priključaka, prema sl. 6-40. Na crtežu jedne i druge varijante su priključci označeni kao u fabričkim prospektima, zbog lakšeg snalaženja.

Na shemi ispravljača, sl. 6-40, numeracija priključaka odnosi se na metalnu izvedbu. Visina izlaznog napona odabere se, »jednom za svagda« potencijetrom u razdjelniku napona kojim se odmjerava

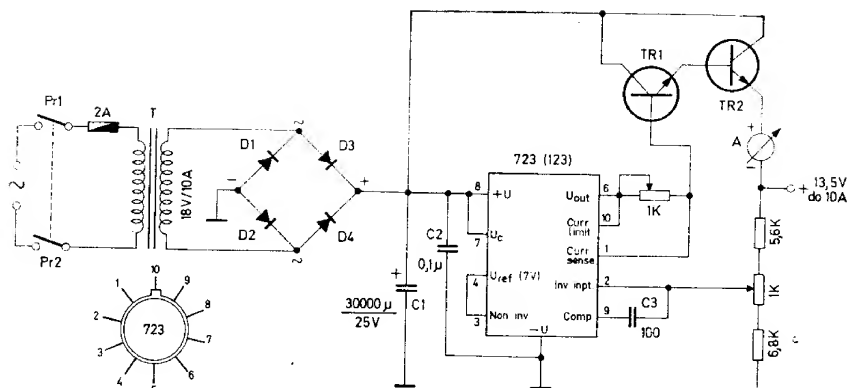


Sl. 6-39. Integrirani stabilizator tipa »723« ili »I23«: a) pregled njegovog unutrašnjeg sastava; b) raspored priključaka stabilizatora, ako je ugrađen u kućište »DIL« sa 14 nožica

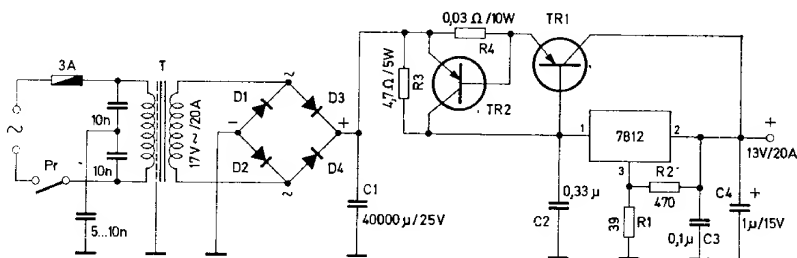
potencijal na priključnici br. 2. Tu je invertirajući ulaz, što znači da će svaki *pad napona* proizvesti korekciju *na više!* Na neinvertirajući napon ulazi referentni napon koji služi kao »norma« prema kojoj se izvršavaju sve korekcije. Na priključnici br. 6 je napon koji se vodi na regulacijske tranzistore, Darlingtonov par, TR_1 i TR_2 . Tu je promjenljivi otpornik (maks. 1 k Ω). Uključen je između priključnica br. 10 i 1. Ako pad napona na tome otporniku bude prevelik, aktivira se automatika zaštite od preterecnja i izlazni napon pada.

Ako transformator na svojoj sekundarnoj strani može dati napon od 18 V kod opterećenja sa 10 A; ukoliko i ispravljačke diode mogu podnijeti takvo opterećenje bez prevelikog zagrijavanja, treba odabrati i odgovarajuće tranzistore ($TR_1 = 2N3054$ ili $2N3055$; $TR_2 = 2N3716$ ili dva paralelna $2N3055$, kao na sl. 6-36) za opterećenja do 10 A. Kondenzator C_1 neka ne bude manji od po 2000 μF za svaki amper.

Trebamo li još jače istosmjernje struje uz dobru stabilnost napona, npr. do 20 A uz napon od 13 V, možemo sagraditi ispravljač prema sl. 6-41. Uz dovoljno snažan transformator (primarno blizu 400 W!) i ispravljački »grec« za 30 A ($PIV = 60$ do 80 V), te tranzistore $TR_1 = 2N5302$ i $TR_2 = BD136$ i jednoamperski stabilizator »7812«, izgrađeno je nekoliko takvih ispravljača kod nas i svi su odmah »proradili«. Oni vrlo dobro služe za pogon snažnijih tranzistorskih primopredajnih radio-stanica. Pri gradnji se ne smije zaboraviti da svi vodovi moraju biti što kraći i dovoljno debeli. *Posebnu pažnju treba posvetiti hladilu.* Ono mora biti rebrasto, u sredini 1 cm debelo. Neka je tako veliko da služi kao poklopac na gornjoj strani limene kutije u kojoj je ugrađen taj ispravljač. Inače ne treba očekivati pravilan rad uređaja. Bez toga je zagrijavanje tranzistora (20 ampera!!) preveliko.



Sl. 640. Shema stabiliziranog ispravljača sa integriranim sklopom »723« i dva tranzistora (vidi tekst). Predviđen je izlazni napon od oko 13,5 V uz opterećenje do 10 A. Na lijevoj strani slike je prikazan raspored priključaka stabilizatora, ako je ugrađen u okruglo metalno kućište sa 10 nožica



Sl. 641. Ispravljač koji daje napon od 13 V i struju jaku do 20 A. Stabilizator tipa 7812 i dva tranzistora su međusobno povezani tako da ispravljač dobro podnosi kratke spojeve ako nisu previše dugotrajni. Ukoliko je sve pravilno načinjeno, sa dovoljno velikim hladilom (!) i opisanim poluvodičkim elementima, sposoban je za pogon jačih amaterskih primopredajnika. Vidi opis u tekstu

Preostali izvori električne energije

Ovdje, dakako, nismo mogli obuhvatiti sve ispravljače koji mogu biti potrebni za različite svrhe u radio-tehnici, kao što su pogon specijalnih niskofrekventnih snažnih pojačala višim naponima, zatim pogon predajnika u kojima ima elektronskih cijevi ili za napajanje oscilatora (VFO) izuzetno stabilnim

naponima i drugo. O takvim će ispravljačima biti govora uz aparate i uređaje kojima pripadaju.

O različitim naponskim pretvaračima, kao i o uređajima i izvorima za pogon radio-stanica neovisno o mreži izmjenične električne struje, govorit ćemo u poglavlju o prevoznim (»mobilnim«) i prenosnim (»portable«) radio-uređajima (vidi: 20. poglavlje, str. 646).

NISKOFREKVENTNA POJAČALA

Nekoliko općih napomena

Niskofrekventna pojačala su sastavni dio mnogih prijemnika, predajnika i drugih uređaja. Često služe i kao samostalni elektronički uređaji, npr., za reprodukciju muzike sa gramofonskih ploča, magnetofonskih vrpca ili za pojačanje glasa govornika ili pjevača. U ovom posljednjem slučaju zvukovi djeluju na mikrofoni, a pojačani se reproduciraju preko zvučnika. Kao aktivni elementi u pojačalima mogu poslužiti i elektronske cijevi i tranzistori, kao i specijalni integrirani sklopovi koji su napravljeni baš za tu svrhu.

Razlika između pojedinih niskofrekventnih pojačala je u njihovoj namjeni, u veličini pojačala, u opsegu frekvencija koje mogu pojačati, te u izlaznoj snazi koju mogu proizvesti.

Ovdje ćemo najviše govoriti o onim niskofrekventnim pojačalima koja obuhvaćaju širok opseg niskih frekvencija. Te frekvencije čujemo pa ih nazivamo i audio-frekvencijama. Sva opisana pojačala mogu služiti za različite svrhe. Na njihov ulaz mogu se priključiti prijemnici, magnetofoni ili gramofoni, kao i mikrofoni, ali isto tako i elektronična gitara ili drugo, prema želji i potrebi.

Jedna od vrlo važnih primjena niskofrekventnih pojačala je za modulaciju u predajnicima. Budući da ima više vrsta modulacije, kao što ćemo vidjeti kasnije, potrebna su često pojačala sa strogo određenim

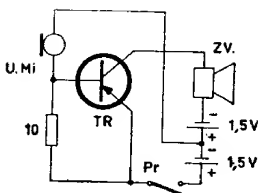
svojstvima. Ona moraju pojačavati samo određen uži opseg niskih frekvencija, dok je nekada potrebno i amplitudu ograničiti. O takvim pojačalima bit će govora kasnije, u poglavljima koja obrađuju određene vrste modulacije i određene vrste signala, kao što su amplitudno ili frekventno modulirani signali ili radio-prenos govora jednim bočnim pojasom (SSB).

Manja pojačala, male izlazne snage, koja je dovoljna za prijem na slušalice ili na manji zvučnik, opisat ćemo u poglavlju o prijemnicima. Takva niskofrekventna pojačala su redovito važan dio samog prijemnika.

O osnovnim principima pojačanja koje se postiže elektronskim cijevima ili tranzistorima već je bilo govora u odgovarajućim prethodnim poglavljima. Zato ćemo ovdje prikazati pojačala kod kojih su ti principi iskorišteni, ali ih nećemo ponavljati. Za ovu vrstu niskofrekventnih pojačala, za opću namjenu i sa širokim opsegom frekvencija, danas se elektronske cijevi gotovo ne upotrebljavaju, pa ćemo se ovdje ograničiti na pojačala s tranzistorima i integriranim sklopovima.

Najjednostavnije tranzistorsko niskofrekventno pojačalo

Niskofrekventno pojačalo sa minimalnim brojem sastavnih dijelova koje može poslužiti kao »mini-razglas«, za pojačanje govora, vidimo na sl. 7-1. Upotrebljen je samo jedan tranzistor. Taj neka bude



Sl. 7-1. Najjednostavnije niskofrekventno pojačalo s germanijevim snažnim tranzistorom. *U.Mi = ugljeni mikrofoni; ZV = 4-omski zvučnik*

bilo koji od onih, kojih je mnogo na našem tržištu: domaći germanijev snažni tranzistor sa oznakom »AD...« (Ei-Niš). Što snažniji tranzistor, sa što većim strujnim pojačanjem, to bolje, ali nije potrebno neko osobito veliko izabiranje. Zvučnik ZV neka bude dobar 4-omski. Njegov primjer neka ne bude premalen, barem 10 cm. Ugljeni mikrofoni, U.Mi, neka bude onakav, kakav se upotrebljava u telefonima. Mikrofon koji su namijenjeni za tzv. poljske telefone (nisko-omski). Njegov promjer neka ne za normalne telefone, ali i takvi će poslužiti.

Za pogon pojačala mogu se uzeti dva galvanska elementa po 1,5 V svaki. Neka ne budu oni sasvim mali. Najbolji su oni koji imaju veći strujni kapacitet. Nazivaju ih »amerikan« i »poluamerikan«.

Za mikrofonski strujni krug bit će dosta jedan od tih članaka. Taj se strujni krug zatvara preko mikrofona i preko otpornika od 10 Ω. Mirna struja mikrofona će dati na tom otporniku toliki pad napona da se tranzistor TR »otvori«, što znači da kroz tranzistor poteče kolektorska struja. Ona teče kroz zvučnik i pokreće je napon od 3 V (oba galvanska članka u seriji!). *Veći napon ne bi bilo dobro primijeniti jer bi jakost električne struje kroz (nisko-omski!) zvučnik mogla postati prevelika.*

Mikrofon mora biti okrenut na suprotnu stranu od zvučnika. Kad

bi mikrofoni mogao prejakom »čuti« zvukove iz zvučnika, došlo bi do tzv. *akustičke povratne veze* i uređaj bi počeo oscilirati, proizvodeći neugodne i glasne zvukove.

Govorimo li blizu mikrofona, mijenjat će se jakost struje koja na otporniku proizvodi promjenljiv pad napona. Zbog toga se mijenja i potencijal i struja tranzistorove baze. Ove promjene djeluju na struju kolektora. Zbog strujnog pojačanja u tranzistoru ove su promjene znatno veće i iz zvučnika se čuje pojačan govor. Prekidač *Pr* treba zatvoriti samo tako dugo dok se govori, što doprinosi štednji struje i produženju trajanja upotrebljenih članaka, koji oba zajedno sačinjavaju pogonsku bateriju.

Mikrofoni i njihova najvažnija svojstva

Svaki izvor zvuka šalje kroz zrak (zrak, vazduh) zvučne valove. Oni se šire brzinom od oko 340 m/s, a sastoje se od niza zgušćenja i razrjeđenja koja idu naizmjenice, jedno za drugim. Ako zvučni valovi dopru do ljudskog uha, ono će ih čuti ako je frekvencija, kojom titra izvor zvuka, između 16 Hz i 20 kHz.

Zvučni valovi djeluju i na mikrofoni. To je sprava koja može titraje zvuka pretvoriti u promjene električnog napona ili jakosti struje. Mikrofon ima različitih vrsta, različite osjetljivosti i različite kvalitete.

Ugljeni mikrofoni su najjeftiniji i mogu dosta dobro poslužiti za prenos govornih frekvencija. Ugljeni mikrofoni, kakav se upotrebljava u normalnim telefonima, obično ima tanku ugljenu membranu. Kad zvuk od nje dođe, ona zatitra pa jače ili slabije zbija, ugljena zrnca koja se nalaze ispod nje. Tako se mijenja unutrašnji otpor mikrofona pa će se struja, koja kroz njega teče, mijenjati u ritmu zvukova. Za priključak na visoko-omski ulaz po-

jačala potreban je tzv. mikrofonski transformator. Opseg zvučnih frekvencija koje se ugljenim mikrofonom mogu prenijeti obuhvaća otprilike od 300 do 3000 Hz, onoliko koliko je najnužnije potrebno za razumljivost ljudskog govora. Nezgodna mu je strana da ima prilično velik vlastiti šum.

Kondenzatorski mikrofoni mijenjaju kapacitet kad njihova membrana zatitra pod utjecajem zvučnih valova. Zbog tih se promjena kondenzatorski mikrofoni nabijaju i izbijaju u ritmu zvukova, pretvarajući mehaničke oscilacije u električne titraje. Ima kondenzatorskih mikrofona koji se odlikuju reprodukcijom izvanredne kvalitete. Za amatere je teško pristupačan zbog svoje visoke cijene.

Dinamički mikrofoni koji imaju osobito tanku i laganu metalnu traku između polova jakog magneta također su veoma kvalitetni i — skupi. Oni koji imaju zavojnicu i membranu poput dinamičkih zvučnika (samo znatno manjih dimenzija) već su pristupačniji. Ima ih različite kvalitete, od onih koji su određeni za prenos govornih frekvencija pa sve do onih koji služe za visokokvalitetan, »Hi-Fi« (čitaj haj-faj; skraćeno od engl. »high-fidelity«) prenos muzike sa opsegom od 50 do 16000 Hz ili još većim. Mikrofonovi ovog tipa koji obuhvaćaju uže područje frekvencija daju veće izlazne napone. Što je opseg frekvencija širi to je izlazni napon niži.

Kristalni mikrofoni su građeni redovito od posebno pripremljenih pločica senjetove (Seignette) ili, kako je još nazivaju, larošelske soli (La Rochelle). Kristalna pločica je redovito u vezi s veoma laganom membranicom koja »hvata« zvukove. Njeni titraji se prenose na kristalnu pločicu. Ona, zahvaljujući svojim piezoelektričnim svojstvima, proizvodi električne napone koji svojim promjenama slijede titraje zvuka. I kod ovih mikrofona se veći izlazni naponi mogu dobiti na ra-

čun sužavanja zvučnog opsega. Kvalitetni kristalni mikrofoni koji obuhvataju široko zvučno područje redovito daju manje izlazne napone. Kristalni mikrofoni su kod amatere veoma obljubljeni jer za njih ne treba ni izlaznog transformatora ni pomoćnih izvora struje. Oni se na visokoomski izlaz pojačala mogu izravno priključiti pomoću kratkog komada oklopljenog kabela. Treba ih čuvati od vlage i naglih promjena temperature.

U novije vrijeme su se za gradnju mikrofona pojavili novi materijali: *elektreti*. Oni su neka analogija magnetima. Magneti su feromagnetički materijali koji trajno zadržavaju svoja magnetska svojstva, dok su elektreti takvi materijali koji zadržavaju svoje elektrostatičke naboje. Elektreti su — uz ostalo — našli primjenu u mikrofonima koji po svojoj funkciji sjećaju i na kondenzatorske i na kristalne mikrofone. Kao i kondenzatorski mikrofoni oni obično trebaju pomoćni električni prednapon, a kao kristalni imaju nezgodnu osobinu da su osjetljivi na veliku vlagu i na više temperature. Ta je osjetljivost kod najnovijih mikrofona sa elektretom znatno manja nego u početku. Osjetljivost im je veća nego kondenzatorskih, ali manja nego kristalnih mikrofona.

U tvorničkim prospektima, gdje se uz ostalo nalaze tehnički podaci o mikrofona, njihova se *osjetljivost* često izražava u decibelima, tj. u odnosu prema nekom definiranom nivou. Prosječnom radioamateru ili tehničaru neće takve brojke biti dovoljno »opipljive«. Zato smo u tablici 7-1 naveli drugačiju, amatere i tehničare iz prakse pristupačniju mjeru za osjetljivost mikrofona. Tu su navedeni niskofrekventni naponi koje daju različite vrste mikrofona uz uvjet da operator drži mikrofoni u ruci, otprilike 10 cm daleko od usta i da govori normalnom glasnoćom. Naponi vrijede za visokoomske ulaze pojačala.

Tablica 7-1. Niskofrekventni naponi koje daju različiti mikrofoni (za govor normalne glasnoće, na daljini 10 cm od mikrofona)

Vrsta mikrofona	Mikrofonski transformator (odnos na više)	Napon na visokoomskom ulazu NF pojačala
Ugljeni (telefonski)	30 do 100	5 do 15 V
Kondenzatorski	—	0,02 do 0,05 V
Dinamički (sa trakom)	10	0,03
Dinamički (sa zavojnicom)	30 do 50	0,1 do 0,5 V
Kristalni	—	0,05 do 0,1 V
Elektretske	—	0,03 do 0,08 V

Mikrofoniska pretpojačala

Priključivanje mikrofona na pojačalo mora biti pravilno, ako želimo da nam mikrofoni ispravno radi. Budući da su niskofrekventni naponi, koje daju mikrofoni, razmjerno maleni, potrebno ih je pojačati. Onaj stupanj na koji je mikrofoni optimalno priključen i gdje se postiže prvo pojačanje obično nazivamo *mikrofonskim pretpojačalom*. To pretpojačalo je, ponekad, ugrađeno u samo kućište mikrofona, ali može biti i prvi stupanj čitavog pojačala.

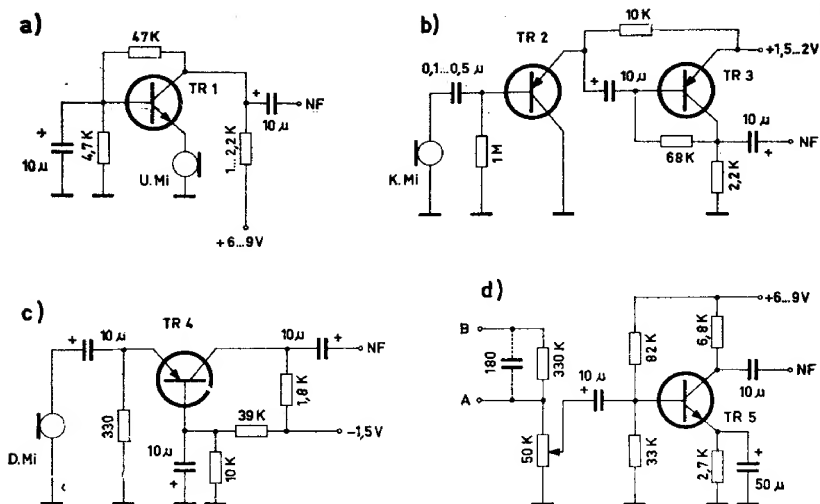
Ugljeni mikrofoni su se ranije na pojačalima priključivali pomoću posebnih transformatora. Taj je transformator imao zadatak da nisku impedanciju mikrofona prilagodi obično višoj impedanciji na ulazu pojačala. Danas se ugljeni mikrofoni rijetko upotrebljavaju, ali oni su vrlo zgodni (i jeftini!) za neke amaterske gradnje. Ugljeni mikrofoni, kakvi se redovito nalaze u telefonskoj kombinaciji u kojoj je i slušalica, mogu poslužiti za modulaciju manjih radio-amaterskih, prenosnih uređaja. Njihova je osjetljivost za govorne audio-frekvencije sasvim dobra, a šum ne mora previše smetati.

Za amatera je jednostavnije da priključi ugljeni mikrofoni bez

transformatora, izravno u emiter-ski strujni krug tranzistora, kao na sl. 7-2a. Mikrofoni je tu umjesto emiter-skog otpornika. Budući da je baza tranzistora elektrolitskim kondenzatorom velikog kapaciteta »uzemljena« za niske frekvencije, vidimo da je to pojačalo u spoju »zajedničke baze«. Emiter je »ulazna«, a kolektor je »izlazna« elektroda. Takva pojačala imaju malu ulaznu impedanciju, što upravo odgovara za priključivanje ugljenog »poštanskog« mikrofona.

Želimo li na tranzistorsko pojačalo priključiti neki mikrofoni sa visokom impedancijom (kristalni, kondenzatorski ili elektretske), pa i dinamički u koji je ugrađen odgovarajući transformator, mora i pojačalo imati visoku ulaznu impedanciju. Zato je na sl. 7-2b tranzistor TR_2 u spoju »zajedničkog kolektora«. Mikrofoni je preko kondenzatora (0,1 μF ili više) spojen s bazom. Ona je ulazna elektroda. Niskofrekventni, pojačani signal uzima se sa emitera i odvodi na slijedeći stupanj s tranzistorom TR_3 .

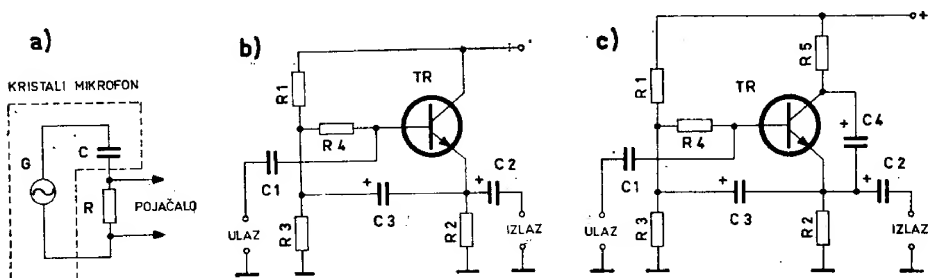
Prema sl. 7-2c možemo i dinamički mikrofoni priključiti na emiter tranzistora. Budući da kroz dinamički mikrofoni ne treba teći pomoćna struja, on se priključuje preko kondenzatora od 10 μF .



Sl. 7-2. Priključivanje mikrofona na ulaz tranzistorskih NF pojačala: a) za ugljeni, niskoomski mikrofoni; b) za kristalni mikrofoni; c) za dinamički mikrofoni niske impedancije; d) ulaz tranzistorskog pojačala za nižu i za višu impedanciju. Kod A je impedancija oko 10 kΩ, a kod B nekoliko stotina kΩ

Tranzistorski stupanj, prema sl. 7-2d, ima dvije ulazne impedancije, jednu nižu (kod A) i jednu višu (kod B). Tu je ujedno prikazano kako treba spojiti potencijometar za regulaciju glasnoće. Kondenzator označen kao 180 pF, može se dodati u slučaju ako se pokaže da ulaz B zanemaruje visoke tonove.

Takvo zanemarivanje visokih frekvencija u čujnom području je to jače izraženo, što je veći raskorak između impedancije mikrofona (ili nekog drugog izvora audiofrekventnog »signala«) i ulazne impedancije pojačala. Da ovu pojavu lakše shvatimo, smatrat ćemo da je, npr, kristalni mikrofoni, sl. 7-3a, genera-



Sl. 7-3. Potreba i načini postizavanja visoke ulazne impedancije kod tranzistorskih pojačala: a) nadomjesna shema kristalnog mikrofona; b) primjena povratne veze za povećanje ulazne impedancije (»bootstrapping«); c) povratna veza od emitera prema bazi i prema kolektoru. Objašnjenja u tekstu

tor struje zvučnih frekvencija. Označen je slovom G . On ima i svoj kapacitet C koji se ne može zanemariti. Slovom R neka je označena ulazna impedancija pojačala. Budući da su R i C spojeni u seriju, oni predstavljaju djelitelj napona, ovisan o frekvenciji. Što je frekvencija viša, bit će kapacitivni otpor »kondenzatora« C niži. Zato je dio izmjeničnog napona koji otpada na R kod viših frekvencija veći. Za niske frekvencije je obrnuto; kapacitivni otpor »kondenzatora« C je veći. Budući da R ostaje uglavnom nepromijenjen, bit će dio izmjeničnog napona koji se javlja na R sve manji što je frekvencija niža. Pojačalo će, ako je ulazna impedancija R razmjerno malena, zanemarivati duboke tonove. Tome se može doskočiti samo na taj način da se za R osigura što veća vrijednost, tolika da se na ulazu pojačala može pojaviti gotovo sav napon iz G u cijelom području zvučnih frekvencija koje želimo pojačati.

Primjenom serijskog otpornika, kao na sl. 7-2d, gubimo dio onog malog niskofrekventnog napona koji dolazi do mikrofona. Otpornici na ulazu čine, naime, razdjelnik napona pa na bazu tranzistora TR_1 dolazi u najboljem slučaju tek malo više od šestog dijela tog napona (330 k Ω : 50 k Ω). Visoku ulaznu impedanciju tranzistorskog pojačala, bez gubitka jednog dijela ulaznog napona, možemo postići prema sl. 7-3b.

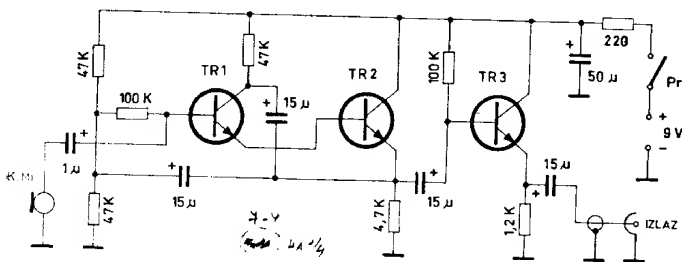
Ulazni signal dolazi preko C_1 (sl. 7-3b), izravno na bazu tranzistora TR_1 . Poznato je da je *naponsko pojačanje* kod »emiter-folovera« približno jednako jedinici. To znači da je izlazni napon praktički jednak ulaznom naponu. Osim toga, oba su napona u fazi.

Preko kondenzatora C_3 vraća se izlazni napon na tačku u kojoj se sastaju otpornici R_1 , R_3 i R_4 . Budući da su, kako smo rekli, ulazni i izlazni napon jednaki i u fazi, kroz R_4 ne teče izmjenična struja zvučne frekvencije! Ovo, dakako, ne vrijedi za istosmjernu struju koja i dalje nesmetano teče. Izlazi na to da otpornik R_4 , a njegovim posredovanjem i ulaz pojačala, imaju za niskofrekventne izmjenične signale vrlo veliku vrijednost otpora. Drugim riječima: ulazna impedancija je znatno povećana!

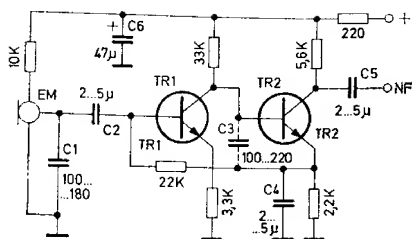
Ako se u kolektorski strujni krug (sl. 7-3c), stavi pogodno odmjeren otpornik R_s i kondenzatorom C_s spoji kolektor i emiter, postiže se još bolji učinak.

Na shemi specijalnog mikrofonskog pretpojačala (sl. 7-4) vidimo kako se opisani principi mogu praktički primijeniti. Tu su upotrebljena tri tranzistora BC 108. Ulazna impedancija je oko 3 M Ω , a izlazna 100 do 200 Ω .

Elektretski mikrofoni, kojima je potreban nomaćni prednapon, mogu se na mikrofonsko pretpojaćalo prikljućiti prema sl. 7-5. Ovdje su tran-



Sl. 7.4. Shema specijalnog tranzistorskog pretpojačala koje ima ulaznu impedanciju od nekoliko $M\Omega$.



Sl. 7-5. Priključivanje elektretskog mikrofona kojemu je potreban prednapon. Vidi tekst

zistori TR_1 i TR_2 u međusobnoj galvanskoj vezi: kolektor prvoga je spojen s bazom drugoga. Emitterski otpornik tranzistora TR_1 nije premošten kondenzatorom i na taj je način ostvarena *negativna povratna veza*.

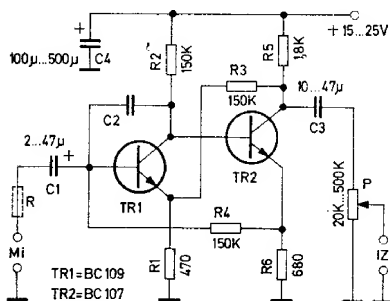
Kroz taj otpornik ($3,3 \text{ k}\Omega$) ne protiče samo istosmjerna struja. Na njemu se javlja i jedan dio niskofrekventnog signala. Njegova je faza *suprotna* fazi ulaznog signala i zato se pojačanje u tranzistoru TR_1 smanjuje, pa govorimo o negativnoj povratnoj vezi. Ona je ovdje neovisna o frekvenciji signala, dakle *aperiodička*.

Kondenzatori C_1 i C_3 imaju drugačiji zadatak. Oni odvođe struje najviših frekvencija mimo pojačala. Tako se može postići određeno ogra-

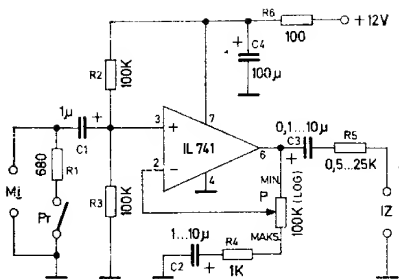
ničenje prema visokim frekvencijama, ali također zaštititi pretpojačalo od eventualnog prodora visokofrekventnih smetnja (od vlastitog ili od susjednih predajnika!) u pojačalo. Na raspored frekvencija i njihov opseg može se još utjecati odabiranjem manjeg ili većeg kapaciteta kondenzatora za vezu, C_2 i C_3 , kao i kondenzatora C_4 kojim je premošten emitterski otpornik tranzistora TR_2 . Veći kapaciteti osiguravaju više basova, što je poželjno kod muzike. Manji kapaciteti smanjuju prisutnost basova, što je opet poželjno da govor bude razumljiviji.

Pretpojačalo, na sl. 7-6, također ima višestruku negativnu, aperiodičku povratnu vezu. Tome doprinosi otpornik R_3 i činjenica da ni jedan emitorski otpornik nije »blokiran« kondenzatorom. Kapacitet kondenzatora C_2 vraća jedan dio već pojačanog signala (prisutnog u kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_1) na bazu istog tranzistora. Ova, također negativna, povratna veza ima veći učinak na najviše frekvencije koje se na taj način mogu, ako je to potrebno, po volji oslabiti: *veći* kapacitet na tome mjestu znači *manje* »visokih«. Isti kondenzator (C_2) štiti od prodora visokofrekventnih struja iz predajnika u blizini pojačala. Potenciometrom P može se regulirati izlazni napon a time i *glasnoća* reprodukcije zvukova.

Na sl. 7-7 je prikazana shema niskofrekventnog (*NF*) pojačala u kojemu, umjesto pojedinačnih tranzistora, služi integrirani sklop (integralno kolo). To je tzv. *operacijsko pojačalo* sa oznakom IL741 (RIZ-Zagreb) ili 741 (Ei-Niš), odnosno sa sličnom oznakom drugih tvornica. O njemu je u ovoj knjizi već bilo govora ranije (str. 89). Na njegov neinvertirajući ulaz (3) dovodi se istosmjerni prednapon u iznosu polovice pogonskog napona i, istovremeno, ulazni niskofrekventni signal, npr. iz nekog mikrofona, *Mi*. Ako *Mi* ima nisku vlastitu impedanciju treba prekidač *Pr* zatvoriti. Tada je otpornikom R_i određena ulazna im

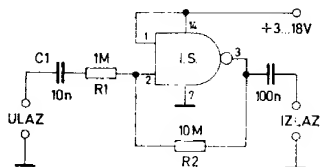


Sl. 7-6. Širokopojasno mikrofonsko pretpojačalo s dva tranzistora u međusobnoj galvanskoj vezi. Opis u tekstu



Sl. 7-7. Mikrofonsko pretpojačalo sa integriranim sklopom (integralnim kolom) IL741. Postoji mogućnost izbora niže ili više ulazne impedancije, kao i veličine pojačanja

pedancija. Ona je u tome slučaju niska. Uz otvoreni prekidač *Pr* ulazna impedancija je visoka (reda 50 k Ω). Pojačanje se može odabirati potencijetrom *P* kojim se »dozira« povratna veza. Ona je negativna, jer dio izlaznog signala dovodimo na invertirajući ulaz (2). Kad je negativna povratna veza maksimalna (priključnica br. 2 u direktnoj vezi s priključnicom br. 6) pojačanje je jednako jedinici (*MIN*) a izlazni signal približno jednak ulaznom! Smanjimo li tu povratnu vezu pomičući klizač potencijometra (prema dolje na slici) pojačanje postaje sve jače do nekog maksimuma koji, grubo, ovisi o omjeru otpora potencijometra i *R*₄. Pojačanje određene frekvencije ovisi još o kondenzatoru *C*₂ čiji izbor utječe na raspored frek-



Sl. 7-8. Jedan dio digitalnog, integriranog sklopa tipa C-MOS (4011) je ovdje upotrebljen kao linearno, mikrofonsko pretpojačalo. Ulazna impedancija je vrlo visoka. Vidi tekst

vencija u pojačanom »zvučnom spektru«.

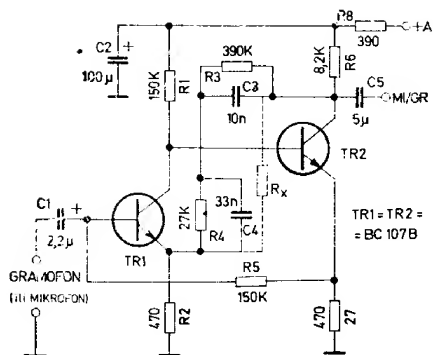
Za one koji vole eksperimentirati će sl. 7-8 biti vrlo zanimljiva. Integrirani *digitalni* sklopovi, kako znamo (str. 94), obično rade tako da im se stanje prebacuje iz tzv. logičke nule u logičku jedinicu i obrnuto. Najčešće se stanja između tih dvaju ekstrema ne mogu koristiti. No, ima izuzetaka. To su neki integrirani sklopovi tipa »C-MOS«, kao što je, npr, »4011«. Na sl. 7-8 je jedan njegov dio upotrebljen kao niskofrekventno pretpojačalo malih napona, kakve daje mikrofoni. Pojačanje je 10 puta (*R*₂ je deset puta veće od *R*₁!).

Za gradnju svih opisanih pretpojačala mogu se uzeti tranzistori BC107 (NPN) ili BC177 (PNP), prema potrebi. Malošumne tranzistore (BC109 ili slične) treba upotrebiti samo onda, ako iza pretpojačala dolazi veći broj pojačavačkih stupnjeva, ali za obične amaterske svrhe to najčešće nije potrebno.

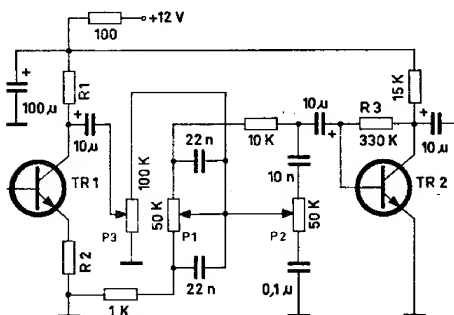
Popravljanje i regulacija boje zvuka

Već smo upoznali način na koji je moguće utjecati na spektralni sastav niskofrekventnih struja koje se pojačavaju u nekom uređaju. Bilo je to u primjerima mikrofonskih pretpojačala primjenom kondenzatora i negativne povratne veze.

Gramofonske zvučnice, a osobito magnetofonske glave, često zanemaruju neke dijelove audio-frekventnog područja, pa bi reprodukcija bila osiromašena. Kod snimanja gramofonskih ploča se namjerno oslabi najniže frekvencije. Te frekvencije bi, zbog svojih većih amplituda, zahtijevale veće razmake među urezanim žljebčićima na ploči. Slično je i s potrebom da se magnetofonska vrpca dovoljno jako »modulira« najdubljim frekvencijama. Osim toga magnetska »bukotina« na magnetofonskoj »glavi« morala bi za sni-



Sl. 7-9. Mikrofonsko pretpojačalo s negativnom povratnom vezom, ovisnom o frekvenciji (R_3/C_3 i R_4/C_4) za korekciju kvalitete reprodukcije muzike sa gramofonskih ploča



Sl. 7-10. RC-mreža s dva potencimetra, P_1 i P_2 , za odvojeno odabiranje jačeg ili slabijeg pojačanja dubokih i visokih zvukova u svrhu popravljavanja i ujednačenja reprodukcije svih frekvencija zvučnog spektra. To je ujedno i jedan od najjednostavnijih primjera za ujednačivač (»ekvilajzer«) zvuka

manje ekstremno visokih frekvencija biti još uža nego jest. To se ne može postići iz tehnoloških i drugih razloga.

Nedostaci reprodukcije mogu se korigirati u pretpojačalima tako da se postigne velika vjernost repro-

dukcije. Sl. 7-9 pokazuje takav primjer pretpojačala za reprodukciju muzike sa gramofonskih ploča. Ranije opisanim putevima negativne povratne veze ovdje je dodana korekcija pri kojoj postoji *jaka ovisnost pojačanja o frekvenciji*. To se postiže kombinacijama otpornika i kondenzatora (C_3-R_3 ; C_4-R_4). Ako ih zamijenimo otpornikom ($R_x = 150 \text{ k}\Omega$), ovisnosti pojačanja o frekvenciji više nema!

Osim ovako određene, nepromjenljive korekcije, moguće je načiniti i kontroliranu korekciju opsega frekvencija, kao na sl. 7-10, gdje je moguće potencimetrima P_1 i P_2 po volji utjecati na pojačanje »basova« i na pojačanje »visokih«, prema potrebi i želji.

Tranzistori mogu i ovdje biti BC 107 ili BC 108.

PRIMJERI NF POJAČALA ZA SAMOGRADNJU

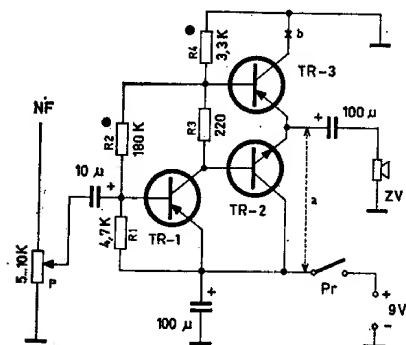
Niskofrekventna pojačala za samogradnju planiraju se prema namjeni i potrebi, prema izvoru pogonske električne energije i potrebnoj izlaznoj snazi.

U ranijim izdanjima ovog priručnika bila su prikazana različita niskofrekventna pojačala, s tranzistorima i sa elektronskim cijevima. To je sve dobro poznato onima, a nema ih malen broj, koji u svojoj amaterskoj biblioteci ili među svojom tehničkom dokumentacijom čuvaju i ranija izdanja. Zato nećemo ovdje ponavljati ono, što je ondje bilo opisano. Želimo samo naglasiti da je i danas potrebno graditi izlazne stupnjeve tranzistorskih niskofrekventnih pojačala koristeći transformatorske veze među stupnjevima, u slučaju da nam za pogon služe vrlo niski naponi (1,5 do 6V). Ukoliko ne trebamo veliku izlaznu snagu, ako se možemo zadovoljiti sa 50 do 100 milivata, sagradit ćemo pojačalo prema sl. 5-79, na str. 160 u drugom izdanju knjige. Pri tome ćemo uzeti transformatore iz nekog

malog tranzistorskog prijemnika, kakvi amaterima često služe kao »izvor« korisnih sastavnih dijelova.

Nije više »moderno«, a i skuplje je, danas graditi pojačala s *elektronskim cijevima*. I takvih će se primjera naći u *ranijim* izdanjima ovoga i drugih radio-priručnika. *Izuzetno* se danas mogu naći cijevna pojačala koja služe kao snažni modulatori amplitudno moduliranih predajnika.

Pojačalo na sl. 7-11 ima tri tranzistora. TR_1 je tipa PNP (može biti BC 177 ili sličan). Kod »NF« dovodi se signal koji želimo pojačati a koji je možda već »prošao« kroz neko pretpojačalo. Taj je tranzistor u tzv. *pobudnom* (*»drajverskom«*) *stupnju*, iza kojega slijedi *izlazni stupanj* pojačala. Ovaj sadrži *dva* tranzistora koji čine tzv. *komplementarni par*: jedan tranzistor tipa PNP (TR_3) i jedan tipa NPN (TR_2). Ako nam je dosta nekoliko desetaka do blizu 100 mW izlazne snage i ako se zadovoljimo telefonskom slušalicom kao zvučnikom (najbolje je da to bude ona »dinamička«, impedancije



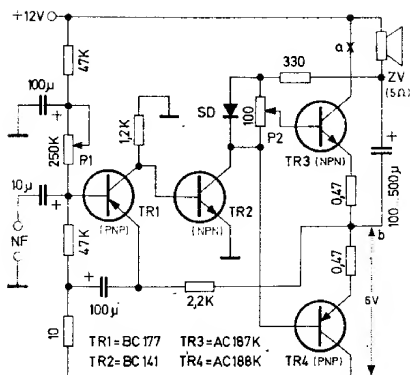
Sl. 7-11. Izlazni sklop jednostavnog tranzistorskog niskofrekventnog pojačala za eksperimentiranje. Tranzistor TR_1 je u pobudnom, komplementarni par tranzistora, TR_2 i TR_3 , u izlaznom stupnju. Opis u tekstu

nekoliko stotina oma, omskog otpora oko 200 Ω (proizvod »Ei-Niš« ili »Iskra-Kranj«), »izlazni« tranzistori mogu biti BC 177 i BC 107. Shema je namijenjena eksperimentatorima. Otpornici R_1 i R_2 određuju radnu točku, osiguravajući potrebnu jakost struje baze za TR_1 . Kolektorski radni otpor sastavljen je od R_3 i R_4 . Pri tome treba da pad napona na otporniku R_3 bude toliko velik da se tranzistorski komplementarni par »otvori«, tj. da poteče kolektorska struja koju mjerimo kod b . Na tome mjestu se prekine vod i privremeno uključi miliampermetar. Struja koja ovuda teče, dok nema signala (tzv. *mirna kolektorska struja*), neka za spomenute tranzistore bude oko 2 mA. Istovremeno mora napon, označen slovom a , iznositi polovicu vrijednosti pogonskog napona. Ako je ovaj 9 V, napon a mora biti oko 4,5 V.

Ukoliko to nije tako, treba *strpljivo* mijenjati R_2 i R_4 dok se to postigne. U tu svrhu je praktično da se umjesto fiksog otpornika R_2 stavi *potenciometar* od 250 do 500 k Ω i da se pomoću njega »namjest« radni uvjeti. Eksperimentirajući s ovako jednostavnim sklopom može se mnogo naučiti o sličnim pojačalima. Izlazna je snaga i glasnoća iz spomenute dinamičke slušalice za mnoge svrhe dovoljna (za prijemnik ili manji prenosni primopredajnik koji mora štediti struju iz baterija!)

NF pojačalo sa komplementarnim parom germanijevih tranzistora

Iako je svakim danom sve više silicijevih tranzistora, još se uz vrlo povoljnu cijenu mogu u trgovinama naći germanijevi tranzistori koji su u tvornici složeni u parove. To znači da su jedan tranzistor NPN tipa i jedan tranzistor PNP tipa podjednakih svojstava deklarirani kao »par«.



Sl. 7-12. Niskofrekventno pojačalo sa silicijevim i germanijevim tranzistorima: $TR_1 = BC 177$; $TR_2 = BC 107$; $TR_3 = AC 187$; $TR_4 = AC 188$. Vidi i tekst

Ako uporedimo shemu na sl. 7-12 sa pređašnjom shemom (sl. 7-11), možemo vidjeti da je ova, s četiri tranzistora, »kompliciranija«. Dva silicijeva tranzistora, TR_1 (PNP) i TR_2 (NPN) galvanski su vezani i oba zajedno predstavljaju pobudni stupanj s većim pojačanjem. Izlaznom paru tranzistora (TR_3 i TR_4) dodani su emitterski otpornici od po 0,47 Ω za veću stabilnost rada uz različite temperature. Osim toga je njihova mirna kolektorska struja stabilizirana

rana silicijevom diodom SD. Mirnu kolektorsku struju ovog komplementarnog para možemo mjeriti miliampermetrom kod *a*, a njenu jakost možemo odabrati potencijometrom P_2 . Jakost te struje neka bude, uz priključeni zvučnik od 5 Ω , oko 10 do 15 mA. Potencijometrom P_1 treba istovremeno postići da napon od točke *b* do šasijske iznosi 6 V, uz pogonski napon 12 V. Pri tome tranzistor TR_3 i TR_4 moraju biti učvršćeni na limenu pločicu koja služi kao hladilo i odvodi suvišnu toplinu. To može biti i limena »šasisija«, ako je pojačalo tako sagrađeno; odnosno posebna aluminijska pločica (ravna ili savinuta, kao na sl. 7-13) veličine približno 9 \times 3,5 cm, debela 1 do 1,2 mm.

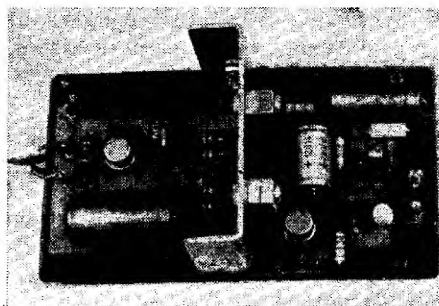
Ovako je bilo sagrađeno pojačalo, sl. 7-13. Upotrebljeni su tranzistori koji su navedeni uz shemu. Prva dva su silicijevi, a izlazni par germanijevi tranzistori. Izlazna snaga je blizu 2 W uz pogonski napon od 12 V. Raspored dijelova nije kritičan, ako odgovara rasporedu na shemi i ako su ulazne priključnice na suprotnoj strani od izlaznih.

Na isti način i s jednakim uspjehom bi se kao izlazni par mogli upotrebiti germanijevi tranzistori AD161 i AD162. Maksimalna izlazna snaga mogla bi onda biti veća, preko 3 W. Hladilo bi moralo biti veće ili deblje, a tranzistore treba izolirati od njega!

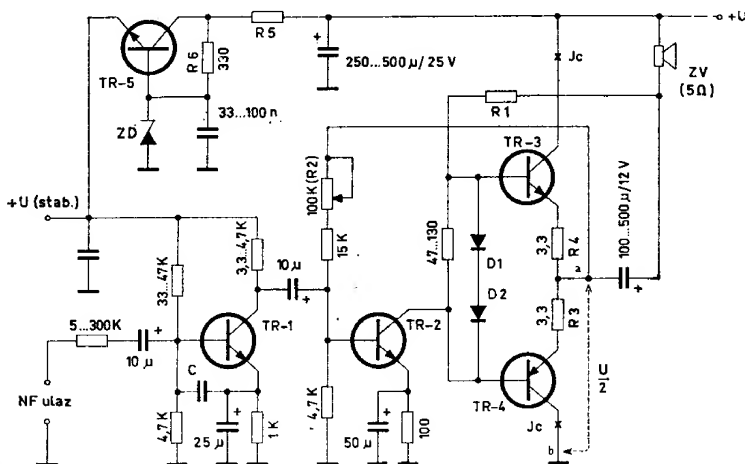
NF pojačalo sa silicijevim tranzistorima i stabilizatorom napona

Niskofrekventno pojačalo, sl. 7-14, kao samostalna jedinica, može vrlo dobro poslužiti za najraznoličnije potrebe u amaterskoj radionici u kojoj se mnogo eksperimentira. Kako je tu još i izvor stabiliziranog napona, primjena je još svestranija.

TR_1 je u predstupnju gdje je moguće pogodnim izborom ulaznog otpora (otpornik između 5 k Ω i 300 k Ω) prilagoditi se različitim izvori-



Sl. 7-13. Izgled pojačala prema sl. 7-12. Vidi se način na koji su izlazni tranzistori učvršćeni na aluminijsku limenu pločicu (za odvođenje topline)



Sl. 7-14. Niskofrekventno pojačalo sa silicijevim tranzistorima i stabilizatorom napona, vidi tekst

ma signala. Veza sa pobudnim stupnjem (TR_2) je kapacitivna. Obzirom na to da je izlazni komplementarni par sastavljen od silicijevih tranzistora, koji za svoje »otvaranje« trebaju veći napon nego »ermanijevi« tranzistori, treba staviti *dvi*e diode (D_1 i D_2) u seriju. Kolika će biti mirna kolektorska struja (mjerena kod J_c) ovisi o jakosti struje koja teče kroz diode, o vrijednosti otpornika koji je paralelno spojen s diodama (47 do 130 Ω), o otporniku R_1 , o kolektorskoj struji tranzistora TR_2 , kao i o emitorskim otpornicima R_3 i R_4 .

Ako je izlazni par tranzistora, npr, BC 141 i BC 161, onda se kao R_1 može uzeti otpornik od oko 330 do 470 Ω , za početak. Potenciometrom R_2 treba postići da je između označenih tačaka polovina pogonskog napona ($U/2$). J_c neka bude 10 do 20 mA, što se može postići traženjem odgovarajuće vrijednosti za otpornik kojim su premostene diode D_1 i D_2 . Pri tome je $TR_1 = BC107$, a $TR_2 = BC141$.

Pogonski napon za TR_1 je stabiliziran sa TR_5 i Zenerovom diodom

ZD. Ako je ZD za napon oko 9 do 10 V, onda je $U(stab)$ oko 8,5 do 9,5 V. Uz pogonski napon $U = 12$ do 14 V, neka R_5 bude oko 100 Ω .

Izlazni tranzistori moraju imati na sebi hladila u obliku zvijezde. Izlazna snaga je veća od 1 W, što je za mnoge namjene sasvim dosta. Stabilizirani napon može napajati i druge potrošače.

Na sasvim jednak način, po shemi na sl. 7-14, može se načiniti i *pojačalo veće izlazne snage*. Treba samo uzeti jači silicijev komplementarni par tranzistora, npr, BD135 i BD136. Tada bi trebalo smanjiti otpornike R_3 i R_4 na vrijednost oko 0,5 Ω i, na opisani način, uspostaviti mirnu kolektorsku struju J_c oko 25 do 30 mA, pa će izlazna snaga moći doseći do nekoliko vata, uz inače podjednake pogonske uvjete. Ako je sa slabijim tranzistorima, uz dovoljnu pobudu, struja J_c dosežala preko 150 mA, sada će ona biti na mahove oko 3 do 4 puta jača, uz pet-omski zvučnik i pogonski napon od 12 do 14 V.

NF pojačalo s tranzistorima tipa V-MOS

V-MOS-tranzistori se ponašaju gotovo identično kao i elektronske cijevi. To znači da imaju vrlo visoku ulaznu impedanciju. Ima ih za različite snage. Glavna im je prednost, u odnosu na druge tranzistore, da dobro podnose zagrijavanje. Ako, naime, običan tranzistor, nije zaštićen dovoljno velikim emiserskim otpornikom, on može stradati kad mu temperatura poraste. S porastom temperature kolektorska struja se pojačava, temperatura zbog toga još više raste. Tako kolektorska struja »pobjegne« do tolikih vrijednosti da se tranzistor često uništi. V-MOS-tranzistori se ponašaju sasvim drukčije! Pri zagrijavanju njihova struja *pada* pa je pregrijavanje u normalnom radu isključeno.

U pojačalu (sl. 7-15) je na ulazu FET (TR_1), npr. E300. Iza njega, u izlaznom stupnju je V-MOS-FET (TR_2). To može biti VN89AA, VN67AF ili VN89AF. Njemu se mora na gejst-elektrodu (g) dovesti pozitivni prednapon kojim se tek postiže formiranje vodljivog N-kanala. Njegova je ulazna impedancija, unatoč tog pozitivnog prednapona, visoka. Izlazni transformator primarno ima impedanciju od 24 Ω , a sekundarno 4 i 8 Ω . To znači da se brojevi zavoja na transformatoru T moraju odnositi kao 2,45 : 1,41 : 1.

Da se načini takav transformator treba uzeti jezgru izlaznog transformatora iz nekog (starog!) radioapa-

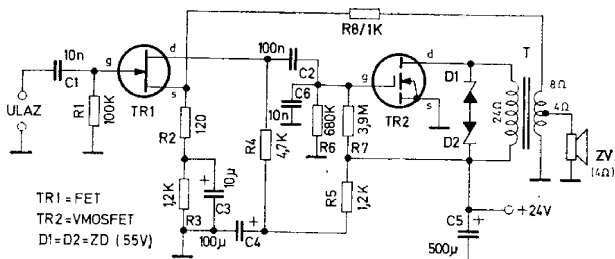
rata u kojemu je bila izlazna cijev EL84 ili slična njoj. Svu žicu treba skinuti i izmjeriti koliki nam prostor na jezgri (u cm^2) preostaje za namatanje novih zavojnica. Za namatanje treba pripremiti bakrenu, lakiranu žicu, promjera 0,4 mm. Kvadratni centimetar presjeka sadrži 400 do najviše 450 zavoja ove žice. Sa njom ćemo namotati i *primarnu i sekundarnu zavojnicu* sa najvećim mogućim ukupnim brojem zavoja, uz uvjet da svakako održimo gornji odnos između primarnih i sekundarnih zavoja. Tako ćemo postići i dovoljno velik induktivitet koji garantira i dobru reprodukciju basova.

Zenerove diode D_1 i D_2 , svaka za oko 50 V, štite V-MOS-FET od visokih induciranih napona koji bi mogli nastati na primarnoj zavojnici transformatora T .

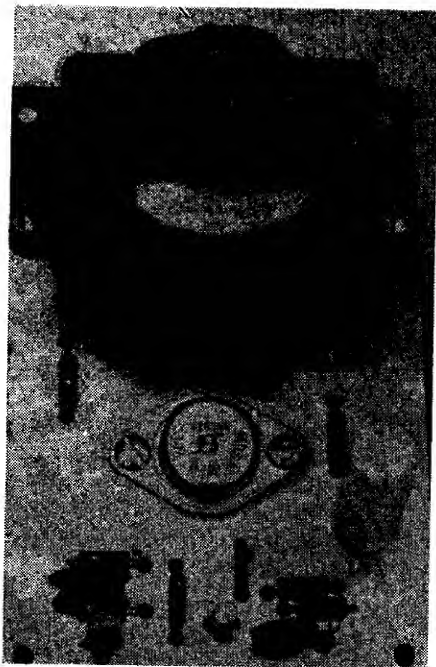
Priključiti treba 4-omski zvučnik, jer 8-omski priključak služi samo za negativnu povratnu vezu (R_s i R_2) u svrhu smanjivanja izobličenja.

Uz pogonski napon od 24 V mirna struja, koja teče preko drejnz-elektrode tranzistora TR_2 , iznosi 300 mA i kod najveće glasnoće došće najviše 325 mA.

Pri gradnji se nikako ne smije zaboraviti na kondenzator C_6 . On oslabljuje najviše frekvencije i čuva TR_2 od »divljih«, nekontroliranih i nepoželjnih visokofrekventnih oscilacija.



Sl. 7-15. Pojačalo sa V-MOS-tranzistorima. Podaci u tekstu



Sl. 7-16. Pogled na limenu pločicu («šasiju») na kojoj je sagrađeno niskofrekventno pojačalo sa V-MOS-FET-om

Izlazna snaga doseže oko 2,5 W uz izobličenja koja su manja od 10%. Ima, dakako i jačih V-MOS-tranzistora, ali su — barem za sada — još razmjerno vrlo skupi!

Na sl. 7-16 vidimo izgled takvog pojačala, izrađenog u laboratoriju ARRL. Za vlastitu gradnju nam je manjkao V-MOS-FET (HI).

NF pojačala sa specijalnim integriranim sklopovima

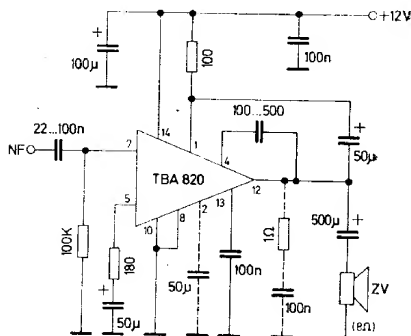
Danas je svim radio-amaterima i tehničarima poznato da gotovo nema radio-aparata i televizora, koji ovih dana izlaze iz tvornice, a da u njima nema integriranih sklopova za različite namjene. Niskofrekventna pojačala u takvim savremenim uređajima redovito su načinjena pri-

mjenom specijalnih integriranih sklopova koji omogućuju postizanje čiste i dovoljno glasne reprodukcije.

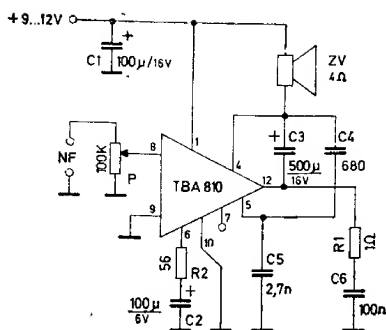
Za one koji sami grade elektro-ničke i radio-uređaje donosimo ovdje nekoliko takvih niskofrekventnih pojačala. Nekoliko njih može se naći i u poglavlju o prijemnicima u ovoj knjizi, npr., sa IL741 ili sa TAA611. Prvi od ovih služi kao pojačalo za prijem na slušalice (str. 216). Pojačalo sa TAA611 može se naći na str. 243.

Shema sa integriranim NF sklopom TBA820 je na sl. 7-17. Ulazna impedancija je visoka, a izlazna snaga, kod 12 V pogonskog napona doseže oko 2 W uz zvučnik od 8Ω. Zvučnik koji bi imao manji otpor, npr. 4Ω, smije se priključiti samo onda ako je pogonski napon znatno niži (6 V), ali onda je i izlazna snaga manja. Sam sklop je u kućištu DIL sa 14 nožica. Na shemi su svi priključci numerirani i brojke odgovaraju standardom DIL-kućištu. Za normalnu upotrebu nije potrebno dodatno hlađenje.

Posebno je interesantan integrirani sklop sa oznakom TBA810. Pomoću njega se lako može sagra-diti niskofrekventno pojačalo za



Sl. 7-17. Integrirani sklop TBA820 omogućuje gradnju niskofrekventnih pojačala do 2 W izlazne snage uz razmjerno malen broj dodatnih sastavnih dijelova



Sl. 7-18. Shema 5-vatnog pojačala sa TBA810

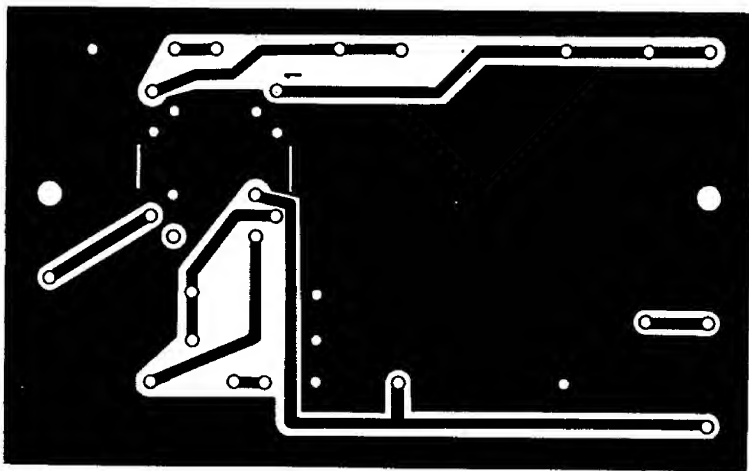
pogonske napone između 6 i 16 V. Odgovarajuća shema (sl. 7-18) pokazuje da je potreban mali broj dodatnih sastavnih dijelova. Sve se može smjestiti na štampanu pločicu veličine 5,5×9 cm. Izgled takve pločice je na sl. 7-19. Možemo je sami načiniti iz komadića kaširanog pertinaksa.

Raspored svih sastavnih dijelova se vidi na sl. 7-20. Tu je smješten i integrirani sklop TBA810. Vidimo da je na njemu 12 priključnih no-

žica, uz dva široka metalna izvoda. Numeracija priključaka na ovoj slici odgovara numeraciji na shemi (sl. 7-18). Široke limene izvode treba provući kroz izreze na pločici i zalemiti na bakreni sloj. To je i spoj sa »minusom« i dovoljan odvod toplote za normalna opterećenja, kod kojih gubici električne energije (koji daju toplinu) ne prelaze preko 2,5 W. TBA810 je veoma ekonomičan. Tako se, uz pogonski napon od 12 V postiže izlazna snaga od čitavih 4 W, dok su gubici u obliku zagrijanja samo 2,1 W! To znači da je iskorištenje dovedene električne energije oko 2/3!

Uz drukčije pogonske uvjete i s priključenim 4-omskim zvučnikom maksimalna izlazna snaga (izobličene do 10%) iznosi:

kod 16 V	6,5 W,
" 14,4 V	5,5 W,
" 12,0 V	4 W,
" 9 V	2,3 W,
" 6 V	1 W,
" 4,5 V	više od 0,2 W.



Sl. 7-19. Izgled »štampanih« vodova na pertinaksovoj pločici, kaširanoj tankom naslagom bakra. Format pločice je 5,5×9 cm. Na nju stanu svi potrebni sastavni dijelovi pojačala sa TBA810

Ukoliko se zadovoljimo s nešto manjom izlaznom snagom, izobličenja su znatno manja. Kao primjer navodimo podatak da uz pogonski napon od 14,4 V i kod izlaznih snaga do 3 W *izobličenje ne prelazi 1%*.

Struja mirovanja, dok nema signala, također je malena. Kod 12 V ona iznosi samo 6 mA!

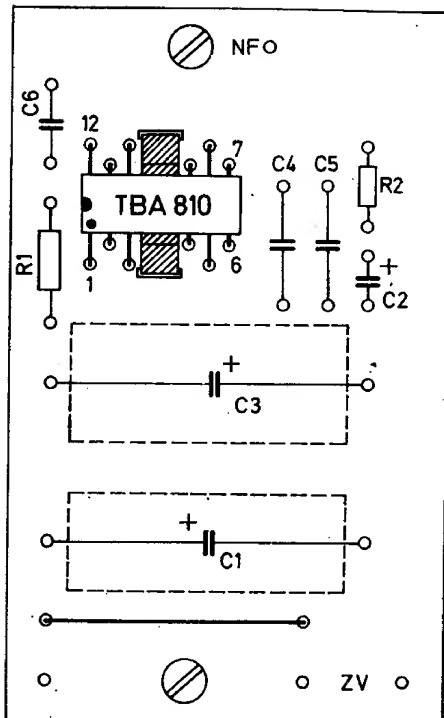
Sagradimo li ga, imat ćemo svestrano pojačalo i za najraznoličnije pogonske napone. Radne tačke se u unutrašnjosti tog integriranog sklopa automatski prilagođuju svim radnim uvjetima.

»Integrirac« (kako neki amateri nazivaju slične sklopove) koji ima oznaku TBA800 predviđen je za nešto veće pogonske napone. Često ga se može naći u savremenim televizorima, gdje uz mali broj dodatnih dijelova predstavlja čitavo niskofrekventno pojačalo. Vanjskim izgledom i brojem priključnih izvoda, kao i širim izvodima za hlađenje, odgovara integriranom sklopu TBA 810. Kako treba oko njega rasporediti i spojiti ostale sastavne dijelove prikazuje sl. 7-21. Na toj je slici TBA800 u desnoj polovici. Za pogon je potreban napon od 9 do 24 V uz različite impedancije zvučnika i to:

kod napona od 24 V i zvučnik od	16 Ω	izlazna snaga je 5 W,
" " " 14,4 V " "	8 Ω	" " " 3,3 W,
" " " 9 V " "	4 Ω	" " " 1,8 W.

Važno je da zvučnik bude odabran *prema pogonskom naponu*. U protivnom, ako bi impedancija zvučnika bila premalena, moglo bi doći do preterućenja i do uništenja integriranog sklopa.

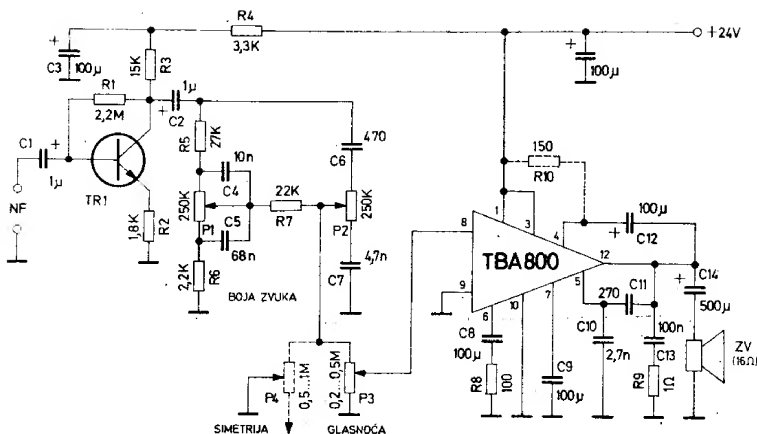
Otpornik R_{10} normalno nije potreban, ako je pogonski napon 24 V. Uz napajanje sa *manjim* naponima (npr. kod 9 V) potrebno je dodati R_{10} od 150 Ω . Gore navedene izlazne snage vrijede za izobličenja do 10%, ali dovoljno je samo malo smanjiti izlaznu snagu, recimo od 5 W na 4 W (kod 24 V) da izobličenje od-



Sl. 7-20. Raspored dijelova na štampanoj pločici. Pojačalo sa TBA810 može se sagraditi iz dijelova normalnih dimenzija

mah padne na 2%. U rasponu između 50 mW i 2,5 W izlazne snage *izobličenja ne prelaze vrijednost od 0,5%*, a to su snage koje se obično koriste pri radu televizora (ili radio-aparata) u sobi.

Na lijevoj strani iste sl. 7-21 nacrta je shema predstupnja s tranzistorom TR_1 (npr. BC 107) i RC-mrežama za regulaciju boje zvuka, posebno za visoke i posebno za duboke tonove, za tzv. »ekvalizaciju«, tj. za prilagođenje pojačala u svrhu što vjernije reprodukcije. Poten-



Sl. 7-21. Integrirani sklop TBA800 predviđen je za napajanje višim napojima. TR₁ je u pretpojačalu. Između ovoga i TBA800 je RC-sklop za regulaciju i ujednačivanje reprodukcije. Po volji se mogu ili izdici ili potisnuti i »basovi« kao i »visoki«. O mogućnostima upotrebe dvaju takvih pojačala za stereofonsku reprodukciju vidi tekst

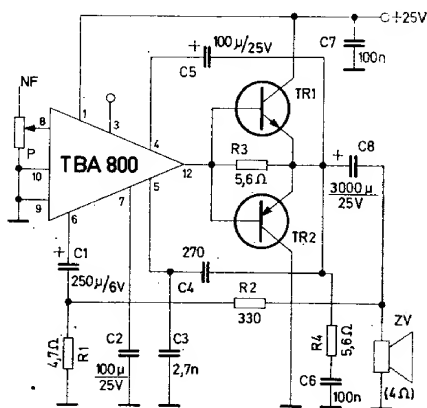
ciometrom P₃ može se regulirati glasnoća.

Ako se sve što je nacrtano na shemi, načini u dva primjerka, može jedan od njih raditi kao pojačalo za lijevi, a drugi kao pojačalo za desni »kanal«, za potrebe stereofonske reprodukcije. Onda se mora dodati još i potencijometar P₄ (samo jedan za oba kanala). Njime se postiže simetrija ili »balans«.

Gradnju takvog uređaja ne preporučujemo početnicima, ali — oni se ne bi, vjerovatno, ni ohrabрили na takav pothvat. Za one koji već imaju iskustva, koja su stekli na jednostavnijim projektima, neće biti većih poteškoća, ukoliko budu sve dijelove pojačala rasporedili onim redom kako su nacrtani na shemi (za svaki kanal posebno!) pazeći da ulazi budu na jednoj a izlazi na drugoj strani. Štampanu pločicu će iskusniji graditelj moći i sam načiniti, po svojoj želji i ukusu. Glavno je da svi dijelovi koji pripadaju određenom sklopu budu što bliže jedan drugome, bez dugačkih vodova.

Stereo-pojačalo sa 2×5 W izlazne snage smatra se zadovoljavaju-

ćim za reprodukciju u običnim stambenim prostorijama. Ako netko želi ili treba veću snagu, onda je može postići i pomoću TBA 800, ako doda snažniji komplementarni par silicijskih tranzistora, kao što je prikazano na sl. 7-22.



Sl. 7-22. Shema 15-vatnog pojačala sa TBA800, uz dodatak komplementarnog para snažnih tranzistora. Opis rada u tekstu

Tablica 7-2. Mjerni podaci o snažnom pojačalu, prema shemi na sl. 7-22. Uz integrirani sklop TBA800 upotrebljen je komplementarni par tranzistora 2N3055 i BDW 52

Napon napajanja (V)	Ulazni napon (mV)	Ukupan potrošak struje (A)	Izlazna snaga uz opterećenje sa 4Ω (W)
10	70	0,23	1,25
15	80	0,36	2,65
20	100	0,55	6,85
25	100	0,75	11,9
27	100	0,85	15,8
30	110	1,05	24,5

Napomena: Mjerenje je izvršeno (Ing. N. Šaban) sinusoidalnim ulaznim naponom frekvencije 1000 Hz, uz osciloskopsku kontrolu. Kod navedenih ulaznih napona nije se moglo vidjeti znakova izobličenja na oscilogramu. Kod muzičke reprodukcije treba očekivati nešto veću izlaznu snagu.

Pogonski napon ne treba biti veći od 25 V. U prospektima nekih tvornica se kao gornja granica napona za napajanje navodi 30 V, ali *ne valja ići na ekstremne vrijednosti*. Kod tih graničnih vrijednosti veći je rizik da integrirani sklop strada.

Tranzistori TR_1 i TR_2 mogu biti, npr., MJE3055 i MJE2955 («Moto-rola») ili neki slični par bilo kojeg proizvođača. Zvučnik (ili kombinacija zvučnika u specijalnoj kutiji) neka ima priključnu vrijednost od 4Ω.

Kod tiših zvukova, dok je izlazna snaga malena, radi samo TBA 800. Tek kod jače pobude postaje pad napona na R_3 dovoljno velik da se mogu otvarati i tranzistori TR_1 i TR_2 . Kod maksimalne izlazne snage, koja doseže preko 15 W (uz 10% izobličenja), dodatni izlazni tranzistori daju najveći dio snage zvučnicima. Potrošak struje, na mahove, iznosi skoro 1 A, pa se za napajanje mora predvidjeti dovoljno jak ispravljač. Vidi i tablicu 7-2.

Reprodukcija je znatno bolja, ako pojačalo ne pobuđujemo do maksimuma. Tako je, sve do izlaz-

nih snaga koje nisu veće od 14 W, *izobličenje najviše 0,3%*. Opseg frekvencija, za kolebanje snage unutar ± 3 dB, je od 30 do 50000 Hz.

40-vatno NF pojačalo sa pretpojačalom

Ako želimo graditi pojačala koja mogu dati još veće izlazne snage, ne smijemo zaboraviti na glavni problem. To je pitanje odluke o vrsti i tipu izlaznih tranzistora, jer veću izlaznu snagu možemo postići tako da povećamo napon za napajanje. Jakost struje koja teče kroz zvučnik određenog otpora možemo, naime, samo tako povećati. Do kojeg napona možemo ići?

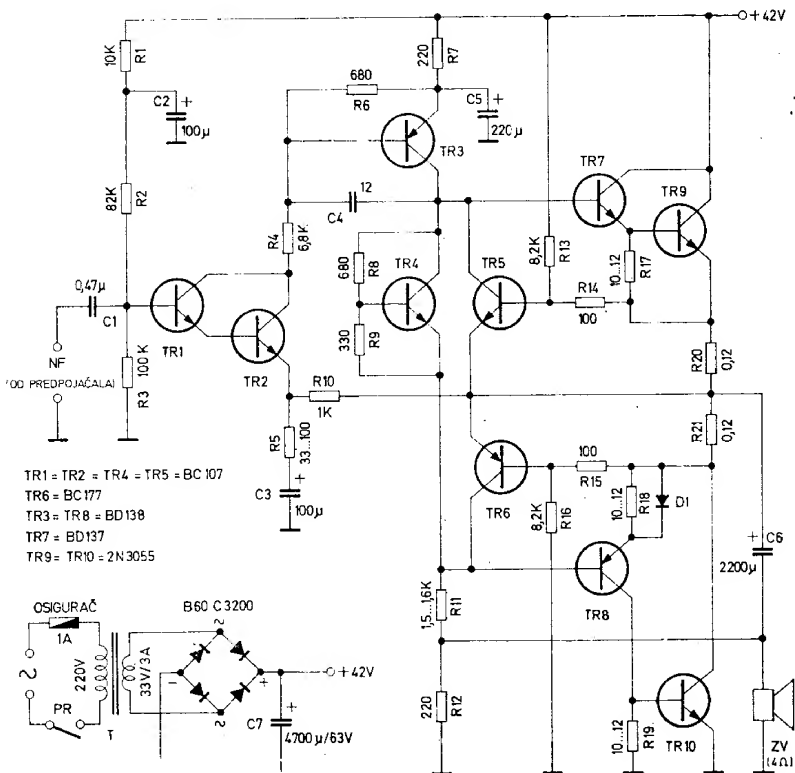
Ako se, što je najbolje obzirom na prilike na tržištu, odlučimo za *domaće snažne tranzistore* 2N3055, mogli bismo — prema prospektima — primijeniti napon do 60 V. Međutim, mnogi takvi tranzistori uz 60 V pogonskog napona jednostavno «ne izdrže», dolazi do unutrašnjeg probroja između kolektora i emitera. O tome smo se u više slučajeva uvjerali, a izlaz iz neprilika bio je redovito pronađen u smanje-

nju napona! — Lijepo je to sve napisano u prospektima, ali oni tranzistori koje amater može nabaviti nisu bili isporučeni industriji niti su otišli u izvoz. Vjerojatno s razlogom! — Iskustvo je pokazalo da oni ipak sasvim dobro rade uz napone napajanja oko 40 V. Znatno preko toga nećemo ići.

Gradit ćemo, dakle, niskofrekventno pojačalo s tranzistorima 2N3055; napon napajanja će biti, recimo, 42 V. Izlazna snaga onda može biti do nekih 40 W, ako zvučnik (ili grupa) ima 4 Ω .

Ako se moramo odlučiti za tranzistore 2N3035, koji su tipa NPN, onda nemamo komplementarni par

koji bi bio potreban. Taj se problem može riješiti. Treba samo naćiniti »kvazikomplementaran« par. To su takve kombinacije tranzistora koje se ponašaju kao komplementarni. Na sl. 7-23 vidi se da tranzistori TR_7 i TR_9 formiraju tzv. *Darlingtonov par*. Oba su tipa NPN pa se zajedno ponašaju kao jedan NPN-tranzistor. I tranzistori TR_8 i TR_{10} formiraju par, ali sasvim drugaćijih svojstava. Tu je TR_8 PNP-tipa i on tranzistorom TR_{10} upravlja na takav način, da oba zajedno rade kao jedan tranzistor PNP-tipa. Razumije se, strujno pojaćanje jednog i drugog para je



Sl. 7-23. 40-vatno niskofrekventno pojaćalo sa kvazikomplementarnim izlaznim stupnjem, te Darlingtonovim parom tranzistora u ulaznom stupnju. Lijevo, dolje na slici je i shema pripadajućeg ispravljaća za pogon pojaćala

mного veće nego bi bilo pri upotrebi pojedinačnih tranzistora.

Tranzistor TR_3 je u pobudnom stupnju, dok se tranzistori TR_4 , TR_5 i TR_6 »brinu« o pravilnim radnim uvjetima izlaznog stupnja.

Naponskim razdjelnikom R_{11}/R_{12} odmjeren je negativna povratna veza koja dolazi od zvučnika.

TR_1 i TR_2 su u tzv. predstupnju. NF ulaz ima visoku impedanciju.

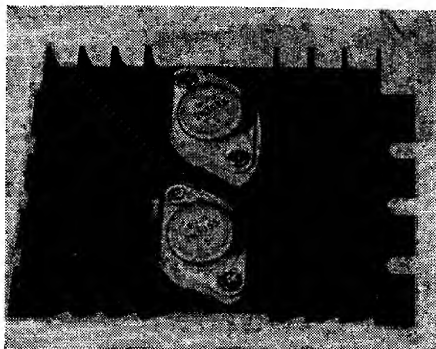
Otpornici R_{17} i R_{19} odabrani su tako da kroz tranzistore TR_9 i TR_{10} , dok pojačalo miruje, ne može teći struja. To je zato, jer ti otpornici skoro kratko spajaju bazu i emiter izlaznih tranzistora. Zato ni emiter ska struja tranzistora TR_7 , baš kao ni emiskrska struja TR_8 , ne mogu proizvesti dovoljan pad napona na tim otpornicima da bi se izlazni tranzistori »otvorili«. To stanje donekle odgovara onome kod dodatnih izlaznih tranzistora na sl. 7-22.

Kod sasvim malih glasnoća svu izlaznu snagu daju tranzistori TR_7 i TR_8 kao jednostavan komplementaran par. Tek onda, kada amplituda niskih frekvencija postane tako velika, da na R_{17} i R_{19} mogu nastati veći naponi, počinju i tranzistori TR_9 i TR_{10} davati svoj doprinos izlaznoj snazi. Kod maksimalne snage skoro sve daju oni (sl. 7-24).

Za napajanje električnom energijom je dovoljan jednostavan ispravljač. Njegova je shema na istoj slici lijevo, dolje. Stabilizacija napona nije potrebna, ali kondenzator C_7 mora imati označenu vrijednost kapaciteta.

Ispred takvog pojačala redovito se stavlja odgovarajuće *pretpojačalo* sa potrebnim regulatorima za glasnoću i za »ekvalizaciju« tj. za ujednačavanje pojačanja svih frekvencija sa ciljem da se postigne što vjernija reprodukcija zvukova.

Da bismo mogli i pretnojačalo priključiti na isti izvor napajanja, potrebno je sve stupnjeve u pretpojačalu dimenzionirati tako da rade uz odgovarajuće više napone.



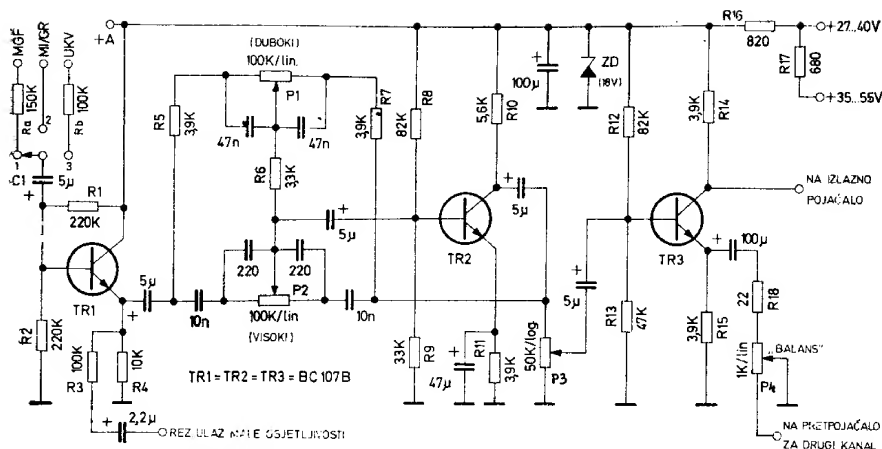
Sl. 7-24. Izlazni tranzistori, dva komada 2N3055, učvršćeni na aluminijskom, crno eloksiranom, rebrastom hladilu. Između tranzistora i hladila je umetnut tanak listić tinjca (liskuna) za izolaciju. Listić je s obje strane premazan tankim slojem silikonske masti za bolje odvođenje topline. Kod ispravno montiranih i dovoljno hlađenih tranzistora ne smije, pri radu pojačala, biti velike razlike u temperaturi tranzistora i hladila!

Na sl. 7-25 vidimo da se tranzistori napajaju pogonskim naponom od 18 V koji je stabiliziran Zenerovom diodom.

Na ulazu je trolpolni preklopnik. U položaju *br. 1* priključuje se magnetofon (MGF); u položaju *br. 2* mikrofona ili gramofonska zvučnica (MI/GR), a u položaju *br. 3* je pretpojačalo spojeno na UKV-prijemnik. Otpornik R_2 , zajedno sa otpornicima R_4 i R_6 , reducira ulazne napone na pravu mjeru. Prema potrebi mogu se otpornici R_4 ili R_6 zamijeniti većim ili manjim vrijednostima.

TR_1 je u spoju emiskrskog slijedila (emiter follower). To znači da se signal uzima sa emitera. Pojačanje je jednako jedinici, ali je zato ulazna impedancija visoka. Tu je priključen i ulaz male osjetljivosti, kao rezerva, ukoliko bude potreban.

Između emitera tranzistora TR_1 i baze tranzistora TR_2 je RC-mreža u kojoj su i dva potencijometra.



Sl. 7-25. Pretpojačalo za priključak magnetofona, gramofona, mikrofona ili UKV prijemnika, koje ima RC-mrežu za regulaciju dubokih i visokih zvukova, regulaciju glasnoće i simetrije (»balansa«, ukoliko se grade dva kompletna uređaja za stereofonsku reprodukciju govora i muzike, sa izlaznim dijelom prema sl. 7-23)

Vrijednosti kondenzatora i otpornika su odabrane tako da je RC-mreža prilagođena postojećim impedancijama. Potencijometrom P_1 mogu se duboki zvukovi ili potisnuti ili izdići. Pomoću potencijometra P_2 isto se postiže u području visokih zvukova.

Ova RC-mreža predstavlja jednostavniji oblik naprave koju nazivaju »ikvelajzer« (prema eng. »equalizer« = ujednačivač). Na nju je dovedena i negativna povratna veza, sa »gornjeg« kraja potencijometra P_2 . Ovaj potencijometar mora biti logaritmički, jer se njime regulira glasnoća.

Tranzistoru TR_1 može se mijenjati pojačanje potencijometrom P_4 . Ako, za prvi momenat, zamislimo da je klizač toga potencijometra »gore« (na shemi!), bit će donji kraj otpornika R_{18} uzemljen. Emiter tranzistora TR_1 je skoro sasvim blokiran elektrolitičkim kondenzatorom od 100 μ F, a pojačanje je maksimalno. Obrnuto, ako je klizač potencijometra P_4 sasvim »dolje«, negativni kraj tog kondenzatora je odvojen od »šasiije« (od »uzemlje-

nja«, tj. od minus-pola napona napajanja!) Kondenzatorovo djelovanje je smanjeno i pojačanje je manje.

Za gradnju stereo-pojačala treba, razumije se, načiniti dva kompletna uređaja prema shemama na sl. 7-23 i 7-25. Onda se potencijometar P_4 može iskoristiti za simetranje glasnoće u lijevom i u desnom »kanalu«. P_4 je samo jedan za oba pojačala, dok svi ostali dijelovi moraju biti udvostručeni. I ispravljač treba biti jači ili, što je još bolje, za »drugi kanal« može se načiniti i drugi ispravljač!

Ovakvo pojačalo, pogotovo udvostručeno za stereo-reprodukciju, gradit će samo oni koji već imaju veliko iskustvo, stečeno pri drugim gradnjama pojačala manje snage. Za te graditelje, vjerujemo, ne treba daljnjih uputa.

Na kraju neka nam bude dopuštena primjedba: Početi je uvijek bolje s manjim projektima i postepeno graditi veće. Preveliki »apetiti«, koji nadmašuju znanje graditelja, loše završe. Uzaludno potrošen novac, upropašten materijal i nezavršeni uređaji su onda rezultat.

VISOKOFREKVENTNI OSCILATORI

OSCILATORI U RADIO-TEHNICI

Električne struje i naponi visokih frekvencija u radio-tehnici služe za najraznoličnije svrhe. Bez njih ne bi bilo ni radio-tehnike.

U radio-odašiljačima (predajnicima) proizvode se visokofrekventne struje i odvođe u antenu. Od antene odlaze u prostor visokofrekventni elektromagnetski valovi koji, kada stignu do prijemne antene, omogućuju da, pomoću prijemnika, »uhvatimo« emitirane signale i da uspostavimo vezu između dvije točke na Zemlji, često i u velikoj međusobnoj udaljenosti.

Proizvodnja visokofrekventnih struja dovoljno velike snage postizala se tokom vremena na više načina. U početku su to omogućili generatori u kojima su *električne iskre* pobuđivale titraje u antenskom sistemu i u titrajnim krugovima. Ulogu *titrajnih krugova* i njihove *resonancije* za prenos električnih signala kroz prostor prvi je opazio Nikola Tesla. On je ovu pojavu iskoristio još prije 1893. godine, kod svojih pokusa u Coloradu (Kolrodu). Radio-veze sa generatorima na iskre održavale su se čak do početka dvadesetih godina ovog stoljeća. Duže su se održali *rotacijski generatori*, kao i generatori sa *električnim lukom*. Sve ih je istisnuo oscilator u kojemu se visokofrekventne oscilacije pobuđuju pomoću *elektronskih cijevi*. I danas je elektronska cijev još nezamenljiva kod najjačih radio-odašiljača kojima se snaga mjeri kilovatima i megavatima.

Za predajnike manje snage, pa i do nekoliko stotina vata snage, radio-tehnika se služi pretežno *tranzistorima*. U prenosnim i prevoznim radio-stanicama elektronskih cijevi više nema!

U radio-prijemnicima je nekadašnji »*koherer*« bio ubrzo zamijenjen boljim, ali još uvijek dosta hirovitim, *kristalnim detektorom*. Iako je otkriće *elektronske cijevi*, uz ostalo, omogućilo gradnju neporedivo osjetljivijih i selektivnijih prijemnika, kristalni se detektor dugo zadržao, osobito među amaterima. Takav jednostavan prijemnik, kojemu nije potrebna nikakva pogonska energija osim one koju dobiju izravno iz antene, od primljenih radio-valova, i danas je zahvalan, malen i jeftin uređaj, osobito za početnike u radio-tehnici.

Primjenom elektronskih cijevi radio-tehnika je brzo napredovala. U njenom krilu rodila se i elektronika, tj. primjena elektronskih cijevi za druge potrebe, osim radija.

Tranzistori, u svojim najraznoličnijim oblicima, kao i u tzv. *integriranim sklopovima* (integralnim kolima) danas su prodrli i u radio-prijemnu tehniku, kao i u elektroniku, gdje se danas — kod savremenih uređaja — elektronskih cijevi više ne može naći.

U predajnicima, kao i u prijemnicima, neobično je važno proizvesti oscilacije visoke frekvencije potrebne stabilnosti. To se danas postiže *oscilatorima*, uz primjenu tranzistora i — rjeđe — posebnim diodama, dok je primjena elektronskih cijevi sasvim rijetka, samo po-

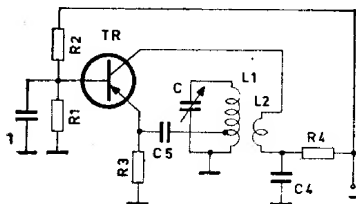
negdje u predajnicima. Oscilacije, koje se mogu neposredno proizvesti, često nemaju onu frekvenciju koja je potrebna. Promjeni frekvencije, u takvim slučajevima, služe različiti *umnoživači*, *djelitelji*, kao i uređaji za *sintezu frekvencije*.

Ovdje ćemo se upoznati s najvažnijima od njih.

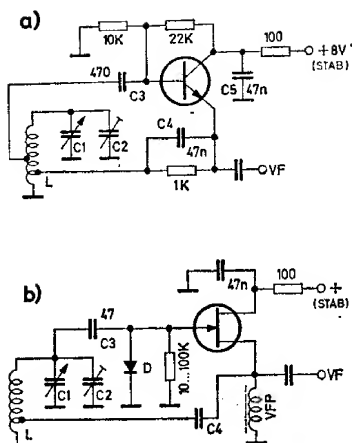
OSCILATORI PROMJENLJIVE FREKVENCije

Oscilatori sa induktivnom povratnom vezom

Induktivnu povratnu vezu za pobuđivanje visokofrekventnih oscilacija je, još 1912. godine, primijenio A. Meissner (Majsner) u svom oscilatoru sa elektronskom cijevi. Princip tog oscilatora već smo vidjeli. Prikazan je na sl. 3-22a, str. 63. Takav se tranzistorski oscilator može načiniti prema sl. 4-33, str. 83. Induktivna povratna veza pomoću *posebne* »reakcijske« zavojnice održala se do danas samo u nekim malenim, prenosnim radio-aparatima, gdje služi u ulaznom stupnju za pobuđivanje tzv. »lokalnih« oscilacija (u stupnju za miješanje). To su oscilatori prema sl. 8-1. Budući da je titrajni krug L_1/C spojen na emiter tranzistora, gdje je impedancija niska, veza je ostvarena na odvojak zavojnice L_1 . Zavojnica L_2 omogućuje povratnu vezu.



Sl. 8-1. Tranzistorski visokofrekventni oscilator prema Meissner-ovom principu. L_1C je titrajni krug. L_2 je zavojnica za povratnu vezu



Sl. 8-2. Oscilatori »na tri točke« Hartley-jevog tipa. a) s bipolarnim (»običnim«) tranzistorom; b) sa unipolarnim tranzistorom (FET)

»Meissnerovi« oscilatori dobro rade na razmjerno nižim frekvencijama, kod kojih se čvršćom povratnom spregom može postići potrebna fazna razlika od 180° . Kod viših frekvencija je to sve teže postići. Zato se već za kratkovalno područje takav oscilator napušta, u zamjenu za bolji.

Pravilnu i dovoljno snažnu povratnu vezu induktivnim putem postiže se ujedinjenjem obih zavojnica: zavojnice titrajnog kruga i zavojnice za povratnu vezu. Preostaje samo jedna zavojnica, na način koji je pronašao Hartley (Hartlej), vidi sl. 3-22 b (str. 63) i sl. 4-34 (str. 83). Tipično je za Hartley-ev oscilator to da je zavojnica sa ostalim dijelovima sklopa priključena na *tri točke*. Savremene oblike ovakvih oscilatora vidimo na sl. 8-2.

Sl. 8-2a vrijedi za savremeni silicijev tranzistor tipa NPN, a shema na sl. 8-2b je za FET. Dioda D dodaje se onda, ako su nam potrebni što čišći titraji, sa što manje viših harmoničkih »dodataka«. To mora biti visokofrekventna silicijeva dioda malog unutrašnjeg kapaciteta. VFP je visokofrekventna prigušnica.

Takav »hartlejk« pouzdano radi sve do najkraćih valnih područja, pa i u bližem UKV-u.

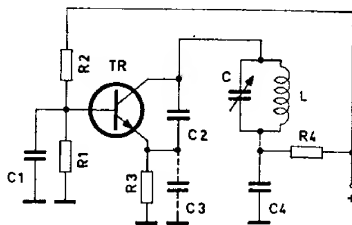
Kapacitivna povratna veza u oscilatorima

Colpitts (Kolpic) je načinio odvojak na titrajnom krugu tako da je potreban kapacitet ostvario serijskim spojem dvaju kondenzatora, sl. 3-22c (str. 63) i sl. 4-35 (str. 83).

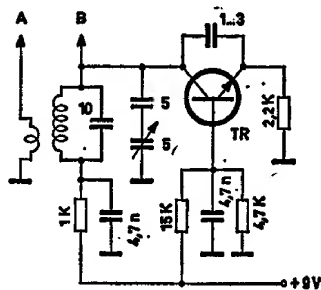
Tranzistorski »kolpic-oscilator« može se koristiti sve do u ultrakratkovalno (UKV) područje, osobito prema sl. 8-3. Kapacitivni razdjelnik visokofrekventnog napona ostvaren je serijskim spojem kapaciteta C_2 i C_3 . U kratkovalnom opsegu frekvencija i C_2 i C_3 su kondenzatori, ali u području UKV-frekvencija može kondenzator C_3 biti ispušten. Njegovu ulogu preuzima unutrašnji emitorski kapacitet unotrebjenog tranzistora, kao na sl. 8-4. Iz takvog oscilatora mogu se visokofrekventne struje odvoditi kod A ili kod B.

Na ove oscilatore nalikuje kratkovalni VFO (prema engl. Variable Frequency Oscillator) za opseg od 5 do 5,5 MHz. Takav često nalazimo u modernim kratkovalnim prijemnicima. Povratna veza, sl. 8-5, postignuta je kapacitivnim razdjelnikom C_4/C_5 . Titrajni krug $L_1/C_1/C_2$ je s tranzistorom TR_1 spregnut preko C_3 , razmjerno malenog kapaciteta. Na taj način titrajni krug nije jako opterećen »aktivnim elementom« (TR_1), pa je stabilnost odabrane frekvencije veća. TR_2 i TR_3 pripadaju stupnju za odvajanje. Njegova je svrha da VF oscilacije odvede iz oscilatora tako, da opterećenje bude što manje, opet sa ciljem postizavanja veće stabilnosti frekvencije.

Oscilator, shematski prikazan na sl. 8-6, konstruirao je E. O. Seiler (Sajler), radio-amater W8PK/W2EB. Kapacitivni razdjelnik, C_2/C_3 , osigurava potrebnu povratnu vezu. U

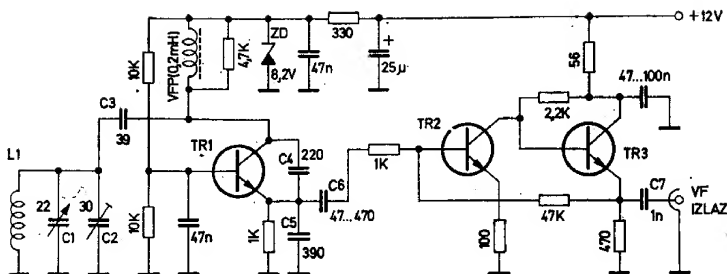


Sl. 8-3. Tranzistorski oscilator s kapacitivnim razdjelnikom (C_2/C_3) za postizavanje povratne veze, po principu Colpitts-a



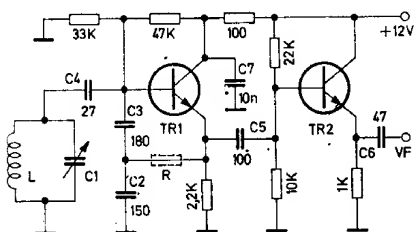
Sl. 8-4. I ovo je shema oscilatora koji radi kao »kolpic«, vidi tekst. Njime se mogu doseći vrlo visoke frekvencije, čak u UKV opsegu

pređašnjem primjeru je baza tranzistora TR_1 (sl. 8-5) bila »hladna«, tj. bez VF napona budući da je »blokirana« kondenzatorom većeg kapaciteta (47 nF) prema »masi«. Kod »sajlera« je kolektor »hladna elektroda«. On je kapacitivno »uzemljen« (blokirana) kondenzatorom C_7 (sl. 8-6). Baza i emiter tranzistora TR_1 nalaze se na visokofrekventnom potencijalu. Kapaciteti C_2 i C_3 redovito su tako veliki da male promjene vlastitih kapaciteta tranzistora TR_1 ne mogu imati znatniji uticaj na frekvenciju. Sam titrajni krug LC_1 je, preko C_4 , u slaboj vezi sa tranzistorom TR_1 . Tako je smanjeno opterećenje titrajnog kruga i osigurana velika stabilnost frekvencije. Na mjestu, gdje je ucrtan R, može se staviti neki otpornik koji treba odabrati

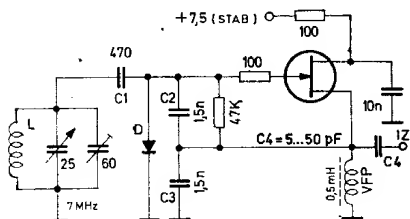


Sl. 8-5. Tranzistor TR_1 je »aktivni element« Colpitts-ovog oscilatora u kojemu je povratna veza ostvarena kapacitivnim razdjelnikom C_4/C_3 . Ti-trajni krug je priključen preko kondenzatora malog kapaciteta C_3 . — TR_2 i TR_3 pripadaju stupnju za odjeljivanje

tako da povratna veza, a time i pobuđivanje oscilacija, bude još dovoljno, ali da oscilacije budu što čišće, bez većih izobličenja. Tranzistor TR_2 se nalazi u stupnju za odjeljivanje. Njegova je zadaća da spriječi opterećenje oscilatora potrošačem, priključenim kod VF (iza C_6). Navedeni kapaciteti vrijede za frekvencije oko 20 do 30 MHz.



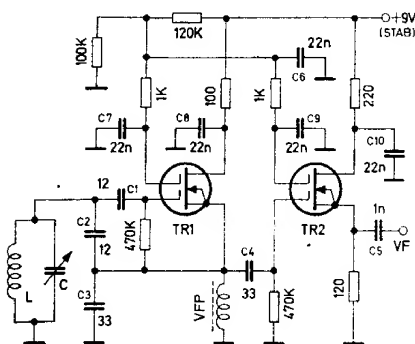
Sl. 8-6. Seiler-ov oscilator velike stabilnosti. Vidi tekst



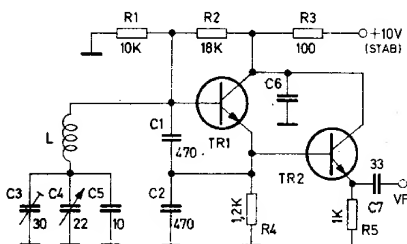
Sl. 8-7. Oscilator »sajler« sa FET-om za frekvencije oko 7 MHz

Za niže frekvencije može Seiler-ov oscilator raditi sa znatno većim vrijednostima kapaciteta, kao na sl. 8-7. Podaci vrijede za frekvencije između 5 i 8 MHz. Kao aktivni element služi FET. Otpornik u strujnom krugu prema gejt-elektrodi (100 Ω) sprečava pobuđivanje neželjenih, »divljih« frekvencija, dok silicijeva dioda D osigurava veću čistoću proizvedenih titraja. Oni sadrže manje viših harmoničnih frekvencija nego onda kada te diode nema. Stabilnost frekvencije je vrlo dobra pa je taj oscilator među amaterima poznat kao »sintetička stijena« (»Synthetic Rock Oscillator«). Oscilacije se odvođe sa surs-elektrode, preko C_4 , dakako, najbolje preko stupnja za odvajanje.

Razumije se da je u oscilatorima moguće upotrebiti i tranzistore tipa MOS-FET. Na sl. 8-8 je takav primjer za frekvencije oko 25 do 35 MHz. Oscilatori s MOS-FET-ima nalaze važnu primjenu u oscilatorima prijemnika, ukoliko im osjetljivost mora biti osobito velika. Tada i sam oscilator, negdje pri ulaznim stupnjevima prijemnika, ne smije unositi šumove. Danas se traži da i oscilator bude malošuman, barem za najbolje komunikacijske prijemnike. TR_1 je u oscilatoru. I ovdje su tri kondenzatora u seriji (C_1 , C_2 i C_3), slično kao kod »sajlera«. Razlika je u tome da C_1 tu ne služi za



Sl. 8-8. Visokofrekventni oscilator s tranzistorom tipa MOS-FET



Sl. 8-9. Clapp-ov oscilator; vidi tekst. Tranzistor u stupnju za odjeljivanje, TR₂, je ovdje u galvanskoj vezi s emiterom oscilatorskog tranzistora TR₁

vezu sa titrajnim krugom, već za vezu sa MOS-FET-om!

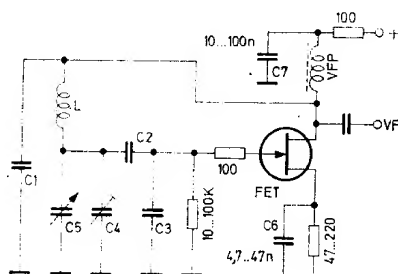
Među amaterima je cijenjen, kao vrlo pouzdan i stabilan, kratkovalni oscilator koji je poznat pod dva imena, jer ga je u Evropi načinio G. G. Gouriet (Gurije) a u Americi J. K. Clapp (Klap). Kao »klap« je ipak poznatiji. I to je oscilator s kapacitivnim razdjelnikom (C₁ i C₂). Treći kapacitet (C₃ + C₄ + C₅), vidi sl. 8-9, spojen je u seriju sa zavojnicom L. Na taj se način *paralelno* sa tranzistorovim unutrašnjim kapacitetima nalaze veliki kapaciteti C₁ i C₂. Istovremeno je *ukupna* vrijednost kapaciteta u samom titrajnom krugu (koji određuje frekvenciju!) razmjerno *malena*. Zato

— kod iste frekvencije — može induktivitet zavojnice L biti veći nego kod drugih vrsta oscilatora.

Frekvencija na kojoj oscilator radi nije određena serijskom resonancijom zavojnice L sa kapacitetom C₃ + C₄ + C₅, kako bi možda netko mogao u prvi momenat pomisliti! Ne! — Ukupna vrijednost kapaciteta, koja leži paralelno sa induktivitetom L, može se izračunati kao kapacitet kondenzatorske serije:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3 + C_4 + C_5}$$

Ing. Jiří Vackář, iz čehoslovačke tvornice »Tesla«, zaslužan je za shemu oscilatora osobito velike stabilnosti, poznatog u svijetu pod imenom »vakar«. To dolazi od pogrešno pročitano imena Vackář (čitaj: Vackarž). Originalni Vackář-ov (ili »Teslin«) oscilator je bio najprije sagrađen sa elektronskom cijevi, ali — kad ga danas načinimo pomoću savremenog FET-a, taj je oscilator još bolji! Takav je »vackarž« shematski prikazan na sl. 8-10. Za razliku od Clapp-ovog oscilatora koji može služiti samo onda, ako frekvenciju treba mijenjati u razmjerno uskom, npr., amaterskom opsegu, Vackářov oscilator daje konstantnu amplitudu i u znatno širim opsezima frekvencije. Odnos maksimalne i minimalne frekvencije može, u jednom opsegu, iznositi do 2,5 : 1.



Sl. 8-10. Vackář-ov oscilator. Vidi tekst i tablicu 8-1

Tablica 8-1. Zavojnice i kondenzatori za Vackář-ov oscilator

Opseg (MHz)	L (μH)	Broj zavoja *	Žica CuL (mm)	C ₁ (pF)	C ₂ (pF)	C ₃ (pF)	C ₄ (pF) maks	C ₅ (pF) maks
1,75 do 2	25,0	46	0,3	565	4800	470	250	30
3,5 do 3,8	13,0	33	0,35	285	2600	250	125	20
7,0 do 7,1	7,0	24	0,55	140	1470	130	11	10
14,0 do 14,35	3,5	17	0,7	68	700	68	11	5
21,0 do 21,45	2,3	14	0,9	44	475	37	6	3
28,0 do 29,7	1,7	12	1,2	31	300	20	12	2

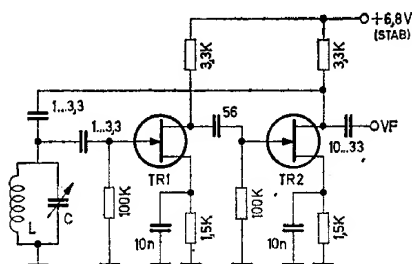
*) Brojevi zavoja su približni i vrijede, ako se zavojnice namataju na tijela s promjerom od 15 mm.

Za postizavanje maksimalne stabilnosti treba se držati autorovih preporuka i kapacitete odabrati tako, da bude zadovoljena relacija:

$$\frac{C_1}{C_1 + C_5} = \frac{C_3}{C_2} = \frac{6}{1}$$

Podatke o sastavnim dijelovima oscilatora, prema sl. 8-10, naći ćemo u tablici 8-1.

Franklinov oscilator možemo shvatiti kao pojačalo s dva stupnja, s TR₁ i TR₂ (sl. 8-11). Na njegovom je ulazu titrajni krug LC. Ovaj je malenim kapacitetom (1 do 3 pF)

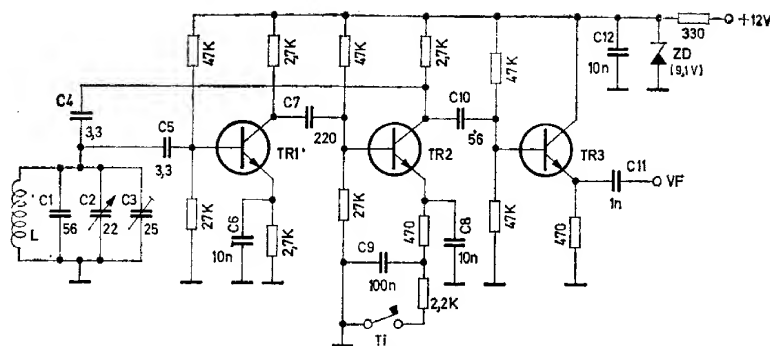


Sl. 8-11. U Franklin-ovom oscilatoru je titrajni krug LC u vrlo slaboj vezi sa aktivnim elementima, što je doprinos i garancija velike stabilnosti proizvedene frekvencije. Povratna veza nastaje okretanjem faze u drugom stupnju tog oscilatorskog sklopa. TR₁ i TR₂ su FET-i

spojen na upravljačku (gajt) elektrodu prvog FET-a. Sa izlaza pojačala vraća se malen dio pojačanog »signala« na isti titrajni krug, također preko jednako malog kapaciteta. Izlazni VF napon tranzistora TR₂ ima, prema ulaznom VF naponu na TR₁, fazu pomaknutu za 180°. Ovo daje pozitivnu povratnu vezu zbog koje se u titrajnom krugu LC pobude oscilacije.

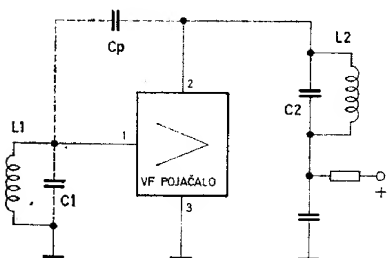
Razumije se da upotreba FE-tranzistora nije uvjet. Mogu poslužiti i »obični«, bipolarni tranzistori odgovarajućih svojstava, sl. 8-12. Tranzistor TR₁ i tranzistor TR₂ po funkciji odgovaraju jednako označenim FET-ima na predašnjoj slici. Tranzistor TR₂ je u stupnju za odvajanje. Ako titrajni krug dimenzioniramo za 80-metarski opseg, stabilnost frekvencije je toliko velika da se, npr. u nekom predajniku, može prekidati sam oscilator. Telegrafski »ton« ostaje čist i bez tzv. »čirpova«. Jedini nedostatak »franklina« je u tome da dobro radi samo na nižim frekvencijama. Kod znatno viših frekvencija se uvjeti za povratnu vezu sve više kvare, jer obrtanje faze u tranzistoru TR₂ nije više pravilno.

Oscilator koji je bio poznat kao »Huth-Kühn« (Hut-Kin) ili kao »Miller« nema danas više svog ranijeg



Sl. 8-12. Stabilnost frekvencije je kod »franklina« tako velika da je moguće, u telegrafskim predajnicima, prekidati tipkalom (»tasterom«) Ti sam oscilator. Ovdje su upotrebljeni bipolarni tranzistori, najbolje da to budu savremeni silicijevi planarni tranzistori (NPN)

značenja. Njegov princip je sasvim općenito, nacrtan na sl. 8-13. Kvadratom je predstavljen aktivni element oscilatora: elektronska cijev, bipolarni ili unipolarni tranzistor. Brojem 1 je označena ulazna elektroda (npr. mrežica cijevi, baza tranzistora ili gejt-elektroda FET-a). Brojka 2 označuje izlaznu elektrodu (npr. anodu cijevi, kolektor ili drejn-elektrodu tranzistora). Na ulazu je jedan, a na izlazu drugi titrajni krug, bez ikakve vidljive povratne veze. Svaki je za se oklopljen, kao u ne-



- 1=MREŽICA, BAZA ILI GEJT-ELEKTRODA
2=ANODA, KOLEKTOR ILI DREJN-ELEKTRODA
3=KATODA, EMITER ILI SURS-ELEKTRODA

Sl. 8-13. Principijelna shema oscilatora tipa Huth-Kühn (danas se više ne upotrebljava, ali na taj način može u VF i u NF pojačalima doći do pojave nepoželjnih, »divljih« oscilacija. Njihova frekvencija može biti vrlo visoka!

kom visokofrekventnom pojačalu. Povratna veza unatoč toga postoji, u manjoj ili većoj mjeri, preko unutrašnjeg »povratnog« kapaciteta C_{p1} u samom aktivnom elementu! Ako je izlazni titrajni krug L_2C_2 ugođen na nešto višu frekvenciju od ulaznog kruga L_1C_1 , pobuđuju se intenzivne oscilacije.

Takav se oscilator danas više ne gradi. Ipak, na tome principu mogu se pojaviti sasvim neželjene oscilacije, neočekivano i nekontrolirano, u loše načinjenim i nepravilno ugođenim visokofrekventnim pojačalima. I u loše sagrađenim niskofrekventnim pojačalima mogu se na sličan način pobuditi i visokofrekventni (!) i niskofrekventni, vrlo neugodni titraji.

Problem stabilnosti frekvencije kod VFO-a

Osnovna pravilo za gradnju oscilatora s promjenljivom frekvencijom (VFO) kaže: *Nema električne stabilnosti bez mehaničke!*

Drugo, jednako važno pravilo glasi: *Bez konstantnih pogonskih uvjeta nema konstantne frekvencije.* To znači da napon napajanja mora biti konstantan. Također mora konstantno biti i opterećenje oscilatora. Napon napajanja se u

potrebnoj mjeri lako stabilizira. Konstantno opterećenje postiže se na taj način da iza oscilatora slijedi jedan ili dva stupnja za odvajanje, tjv. »baferi« (engl. buffer). Nekoliko takvih stupnjeva smo već upoznali.

Osim izuzetaka, kao što je Franklinov oscilator, *ne preporučuje se* u predajnicima za telegrafiju direktno prekidati rad oscilatora. To često daje neizbježive promjene frekvencije koje se očituju kao »čir-povi« i »pijukanje«. Ne valja *oscilatore* ni amplitudno modulirati (za postizavanje AM-signalâ ili SSB-signalâ!) jer se dobije smjesa amplitudne i frekventne modulacije.

Od ovakvih naglih promjena frekvencije oscilatora treba razlikovati spore promjene, kod kojih frekvencija »klizi« postaje polaganâ viša ili niža. Za ovu pojavu poznat je i naziv »puzanje« ili »drift frekvencije«. Opaža se osobito kod uređaja koji se jače zagrijavaju. Promjena temperature tranzistora, kondenzatora i zavojnica u oscilatorima, mijenja njihove mehaničke dimenzije i električne karakteristike.

Promjenljivi kondenzatori, kao i kondenzatori fiksnih kapaciteta, moraju biti dobro građeni, sa izolacijom u kojoj nema mnogo gubitaka. Njihov *termički koeficijent* kapaciteta trebao bi biti nula. Najbolje je upotrebiti kondenzatore sa izolacijom od tinjca (liskun, »mica«), keramički tipa »NPO« ili sa izolacijom od polistirolske folije.

Bolja je stabilnost onih oscilatora koji rade s *manjim* pogonskim naponima. Oscilator ne treba proizvoditi veliku snagu. Veća se snaga lako postiže naknadnim pojačanjem. Ako unatoč velike pažnje frekvencija ipak »putuje«, potrebno je izvršiti *termičku korekciju* (kompenzaciju) drifta.

Većina oscilatora koji nemaju termičku korekciju pokazuju kod povećanja temperature *sniženje* frekvencije. Takav se oscilator može korigirati (kod određene frekvenci-

je *f*) dodavanjem kondenzatora sa *negativnim* termičkim koeficijentom. Za to je potreban tzv. *probni kondenzator*. On neka ima kapacitet od npr. 50 pF i negativni termički koeficijent od, npr. »N750«, što znači da mu se kapacitet smanjuje za 750 dijelova na milijun kod promjene temperature za 1°C.

Najprije izmjerimo promjenu frekvencije od momenta ukapčanja do stabilizacije temperature u oscilatoru. To je postignuto, recimo, za jedan i po sata. Frekvencija *f* neka se je pri tom promijenila za *f*₁. Sada stavimo paralelno s promjenljivim kondenzatorom oscilatora probni kondenzator (*C*_{prob}=50 pF, N750) i popravimo frekvenciju opet na *f*. To se postiže opreznim okretanjem trimera u oscilatoru (ako ga ima) ili otvaranjem promjenljivog kondenzatora u titrajnom krugu oscilatora. Pustimo da se predajnik sasvim ohladi na sobnu temperaturu. Tada ga opet uključimo i izmjerimo novu promjenu frekvencije do koje će doći kroz jednako dugo vrijeme. Neka promjena frekvencije sada iznosi *f*₂. Kapacitet kondenzatora koji treba dodati oscilatoru da se postigne korekcija (*C*_{kor}) je:

$$C_{kor} = C_{prob} \frac{f_1}{f_1 - f_2}$$

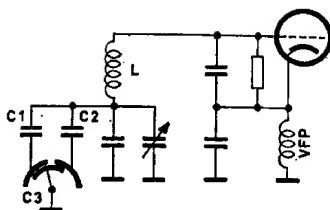
Ako iza dodavanja probnog kondenzatora frekvencija oscilatora *poraste* treba u nazivnik gornjeg izraza staviti *f*₁+*f*₂. Razumije se da kondenzator dodatnog kapaciteta mora imati jednak termički koeficijent kao i probni; u našem primjeru opet »N750«. Ova oznaka piše na mnogim kvalitetnim kondenzatorima. Ako oznake nema treba taj podatak pronaći u prospektu fabrike kondenzatora.

Na sl. 8-14 je prikazan brži način termičke korekcije oscilatora. Za vojnika *L* i neoznačeni kondenzatori pripadaju normalnom oscilatoru tipa Clapp-VFO. Dodati treba diferencijalni kondenzator *C*_s (2×25 do 2×50 pF) i dva fiksna kondenzato-

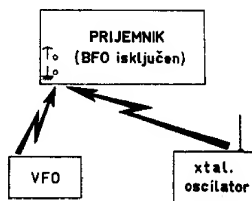
ra. Od njih neka C_1 ima negativni termički koeficijent (N 750 ili bolje N 1500), a C_2 neka ima termički koeficijent »nula« (NPO). Inače su kapaciteti C_1 i C_2 međusobno jednaki (15 do 50 pF, prema prilikama). Mijenjajući položaj rotora diferencijalnog kondenzatora možemo imati bilo povećanje bilo smanjenje frekvencije kod *povećanja* temperature. Negdje između ove dvije krajnosti naći ćemo (uz potrebnu strpljivost!) takav položaj kondenzatora C_3 kod kojega će frekvencija ostati dovoljno konstantna.

Promjenljivi kondenzatori u oscilatorima ne smiju imati pretanke ploče, zavojnice moraju biti što kvalitetnije i ne smiju biti montirane blizu dijelova koji se griju ili blizu velikih metalnih dijelova ili ploha koje bi mogle biti uzrokom prigušenja. Svi spojevi moraju biti što kraći i međusobno spojeni s dovoljno debelim žicama koje mehanički neće vibrirati. Nekada stavljaju čitav oscilator na podlogu od spužvaste gume ili na gumene nožice da se spriječi prenošenje vibracija i udaraca na dijelove oscilatora.

Ispitivanje stabilnosti oscilatora i mjerenje veličine »drifta« može se izvršiti direktno, pomoću tzv. »brojača frekvencije« ili uz pomoć nekog drugog, vrlo stabilnog oscilatora. To je na sl. 8-15 kristalni oscilator. Osim njega tu je još ispitivani VFO i kratkovalni prijemnik kojemu je BFO isključen. Prijemnik pri tome radi *bez antene*. Obično je naime dovoljno da su VFO i kristalni oscilator blizu prijemnika. U prijemniku se razlika frekvencije jednog i drugog oscilatora čuje kao ton interferencije kojemu se visina mijenja ako jedan od oscilatora, redovito je to VFO, promjeni frekvenciju. Izmjerimo li frekvenciju interferentnog tona, znamo i razliku frekvencija među oscilatorima. Budući da je pomoćni oscilator prijemnika (BFO) isključen, ugađanje prijemnika *ne utječe* na visinu tona koji se čuje. Okretanje dugmeta za ugađanje prijemnika utječe, kako se lako možemo uvjeriti, samo na



Sl. 8-14. Razmjerno jednostavan način temperaturne korekcije promjenljivih oscilatora. Vidi objašnjenje u tekstu



Sl. 8-15. Pregled pribora za ispitivanje stabilnosti oscilatora (VFO)

glasnoću tona interferencije. Zbog toga stabilnost samog prijemnika nema utjecaja na ishod opisanog ispitivanja.

OSCILATORI S KVARCOVIM KRISTALIMA

Nekoliko svojstava kvarcovih kristala za oscilatore

Frekvencija oscilatora koji je kontroliran kvarcovim kristalom veoma je konstantna. Ona ovisi pretežno o geometrijskim svojstvima, osobito o debljini kristalne pločice. Sve ostalo, uključivši držač samog kristala i električni sklop oscilatora, ima znatno manji utjecaj.

Snaga električnih oscilacija koje se mogu dobiti samim oscilatorom je ograničena. Kvarcov se kristal naime ne smije preteretiti, jer se onda pretjerano zagrijava pa može i pući. Opterećenje kristala ovisi o jakosti visokofrekventne struje kojoj je izložen, a ova je veća ako je povratna veza koja služi za pobudi-

vanje oscilacija jača. Zagrijavanje ovisi i o veličini kristalne pločice pa se — uz jednako visokofrekventno opterećenje — mali kristal zagrijava jače od velikog.

Zagrijavanje kvarcovog kristala nije poželjno ni iz razloga stabilnosti frekvencije. Promjena temperature će različito utjecati na promjenu frekvencije što zavisi o načinu na koji je pločica bila izrezana iz kvarcovog kristala. Različiti »rezovi« imaju različite temperaturne koeficijente, kako se to vidi na tablici 8-2.

Ovdje vidimo da je za rez *AT* i *BT* napisana nula. To je tačno samo unutar nekih određenih granica. Oni mogu kod temperatura koje se znatno razlikuju od deklariranih imati malen pozitivan ili negativan temperaturni koeficijent. Za *GT* rez se tvrdi da je njegov temperaturni koeficijent stvarno jednak nuli u cijelom području od 0°C do 100°C. Nažalost, kvarcovi kristali koji su tako rezani mogu služiti samo kod razmjerno niskih frekvencija.

Da osiguramo maksimalno moguću stabilnost frekvencije upotrijebit ćemo samo toliku povratnu vezu kolika je najnužnija za pobuđivanje oscilacija.

Za postizavanje ekstremno velike stabilnosti stavljaju se kvarcovi kri-

stali u termostate pomoću kojih se drže na konstantnoj temperaturi. Kod radio-amaterskih uređaja ovo neće biti potrebno.

Za kristale koji lakše osciliraju kažemo da im je »aktivnost« veća. »Tromi« kristali teže osciliraju. Ova im »tromost« često nije »prirodna«. Ona može biti prouzročena zaprljanim ili zamašćenim površinama kvarcove pločice. Zato je razborito *ne otvarati držač*, kristalnu pločicu *ne dirati prstima!* Ako je već neki kristalni držač bio otvaran pa se kristal »tromo« ponaša, možemo mu često vratiti aktivnost ako pločicu *oprezno (!) pincetom* izvadimo i operemo je tetrakloridom (CCl_4), ostavimo da se osuši i opet je vratimo u držač. Nekada je dovoljno pranje sapunicom ili deterdžentom sa naknadnim ispiranjem *u destiliranoj vodi* i, iza toga, u koncentriranom alkoholu.

Ovu »operaciju«, dakako, možemo izvršiti samo onda, ako je kvarcov kristal u držaču koji se lako može otvoriti. Savremeni kristali su zatvoreni u limenom kućištu koje je sa svih strana zalemljeno. No, oni se i ne mogu zaprljati. Stradati mogu samo od velikih opterećenja ili, najčešće, zbog grubog postupka s njima (mehanički udarci, padovi i slično).

Tablica 8-2. Karakteristike kvarcovih kristala

Oznaka reza	Normalno područje frekvencija (MHz)	Temperaturni koeficijent (Hz/MHz/s°C)
<i>X</i>	1 do 5	—20
<i>Y</i>	1 do 10	+75
<i>AT</i>	0,5 do 10	0
<i>BC</i>	1 do 20	—20
<i>BT</i>	1 do 20	0
<i>GT</i>	0,1 do 0,5	0

Oscilatori na osnovnoj frekvenciji kristala

Najjednostavniji kvarcov oscilator je onaj kod kojega nema titrajnog kruga. Sam kristal određuje frekvenciju.

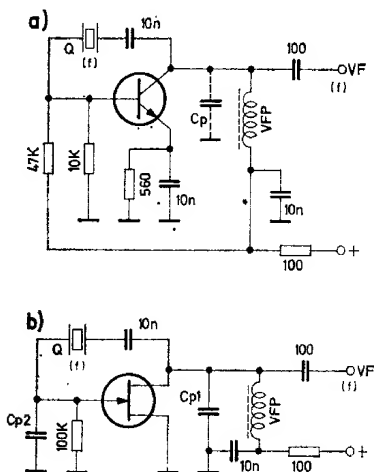
Takvi su oscilatori shematski prikazani na sl. 8-16. Gornja shema vrijedi uz upotrebu bipolarnog tranzistora, a donja vrijedi za unipolarni FET. Pogledajmo najprije sl. 8-16a. Kvarcov kristal *Q* spojen je između kolektora i baze tranzistora. Kondenzator od 10 nF samo sprečava da istosmjerni potencijal kolektora stigne do kristala. Prigušnica *VFP* ima redovito tako velik induktivitet

da ne resonira na frekvenciju za koju je brušena kvarcova pločica. To je tranzistorska varijanta oscilatora koji je pronašao Pierce (Pirs). U njemu se pobuđuje osnovna frekvencija kristala. Ponekad, »tromiji« kristali neće oscilirati dok se ne doda kapacitet C_p . Njegovu vrijednost treba odrediti eksperimentalno.

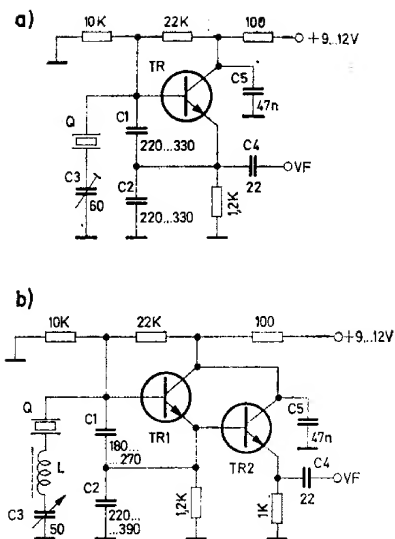
Pierce-ov oscilator sa FET-om je na sl. 8-16b. Ako su kondenzatori pravilno odabrani (opet pokusom!), pobuđuju se osnovni titraji kvarca.

Češće primjenjivani tranzistorski spoj kvarcovog oscilatora vidimo na sl. 8-17a. Kondenzatorima C_1 i C_2 osigurana je povratna veza, dok sam kristal zamjenjuje titrajni krug. Čitav oscilator sjeća na ranije opisane tipa Colpitts ili Clapp. Kondenzatorom C_3 može se utjecati na frekvenciju i malo je popraviti, ako je potrebno da je dovedemo na određenu vrijednost.

Veće mogućnosti promjene frekvencije kvarcovog oscilatora postoje



Sl. 8-16. Pierce-ov tip oscilatora s kvarcovim kristalom: a) s običnim, bipolarnim tranzistorom (NPN); b) sa unipolarnim tranzistorom (FET). C_p , C_{p1} i C_{p2} su kondenzatori za povratnu vezu, ako ih treba, budući da ona nastaje i zbog unutrašnjih kapaciteta u tranzistorima



Sl. 8-17. Oscilatori s kvarcom. Povratna veza je načinjena prema Colpitts-u ili Clapp-u, pomoću kapacitivnog razdjelnika VF napona, C_1/C_2 . Trimer C_3 na crtežu a) omogućuje dovođenje oscilatora na određenu frekvenciju. Na crtežu b) promjenljivi kondenzator (sa istom oznakom C_3), u zajednici sa zavojnicom »za povlačenje« L , dopušta promjenu frekvencije za 0,5 do 1,5‰, ovisno o kristalu. Vidi tekst

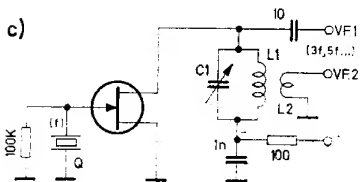
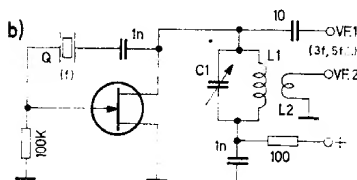
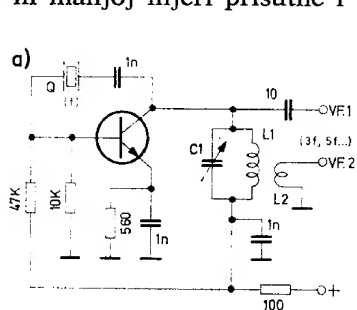
kod tzv. VXO, tj. kod oscilatora gdje se frekvencija može »povlačiti«. Ovdje je povlačenje frekvencije omogućeno promjenljivim kondenzatorom C_3 , uz prisutnost »zavojnice za povlačenje« L . Uz kristale sa osnovnom frekvencijom oko 8 do 10 MHz induktivitet zavojnice mora biti između 10 i 20 μ H, ovisno o upotrebljenom kvarcu. Promjena je redovito prema nižim frekvencijama. Može doseći najmanje 0,5 do 1‰; rjeđe do preko 1,5‰. To je prilično mnogo. Iza potrebnog umnožavanja frekvencije, na 2-metarskom opsegu promjena može iznositi preko 100 ili čak blizu 250 kHz!

»Overtonski« oscilatori

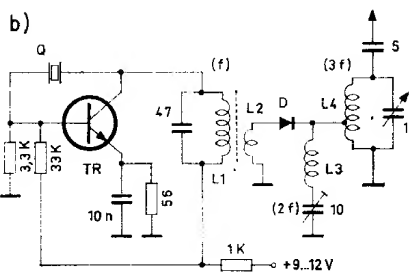
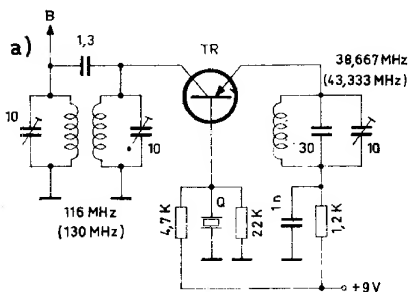
Svaki predmet koji može mehanički oscilirati ima svoju osnovnu frekvenciju. Međutim, postoje i mogućnosti titranja višim frekvencijama. Tako je i kod kvarcovih kristalnih pločica. Osim na svojoj osnovnoj frekvenciji može kvarcova pločica oscilirati i na tzv. »overtonskim« frekvencijama: približno na 3 puta, 5 puta ili 7 puta višoj frekvenciji. *Overtonske* frekvencije treba *razlikovati od viših harmoničkih* frekvencija. I onda, kad kvarc titra na svojoj osnovnoj frekvenciji (prvoj harmoničkoj), redovito su u većoj ili manjoj mjeri prisutne i više

harmoničke (druga, treća i tako redom). Ove su uvijek tačan umnožak osnovne. Overtonske frekvencije (engl. over = iznad) su više od osnovne, ali one se *ne mogu* izračunati jednostavnim množenjem osnovne frekvencije *neparnim* brojevima. »Overton« je samo približno jednak toj vrijednosti.

Kvarcovi kristali se redovito bruse tako da, do frekvencija oko 20 MHz, osciliraju na svojoj osnovnoj frekvenciji. Ako je na kvarcovom kućištu utisnuta frekvencija koja je viša od 20 MHz, najvjerojatnije se radi o vrijednosti overtonske frek-



Sl. 8-18. Tri »overtonska« oscilatora s kvarcovim kristalima: a) s bipolarnim; b) i c) sa unipolarnim tranzistorom. Titrajni krug mora biti ugođen na frekvenciju odabranog kvarcovog overtonea



Sl. 8-19. U ovim oscilatorima se postiže deveterostruka frekvencija. Oscilacije se najprije dobiju na trostrukoj, overtonskoj frekvenciji kvarca Q i zatim se još utrostručuje: a) kao overtonski oscilator i utrostručivač frekvencije služi samo jedan tranzistor; b) tranzistor je u overtonskom oscilatoru, dok za daljnje utrostručivanje služi dioda D, serijski titrajni krug (sa L_3) i izlazni titrajni krug (sa L_4). Opis u tekstu

vencije. Kod frekvencija između 30 i 50 MHz to je obično treći overtone. Kod frekvencija iznad toga, sve samo do preko 100 MHz, radna frekvencija jednaka je petom overtoneu (tj. ona je približno pet puta viša od osnovne frekvencije kvarca).

U oscilatorima, prema sl. 8-16 i sl. 8-17, kvarc oscilira uvijek na svojoj osnovnoj frekvenciji.

Želimo li pobuditi kvarc na osciliranje na frekvenciji, ispisanoj na kućištu, ukoliko je to overtonska frekvencija, ne možemo upotrebiti takve spojeve! Tada oscilator mora sadržavati titrajni krug koji resonira na željenu frekvenciju, prema sl. 8-18. Shema, sl. 8-18a vrijedi za bipolarni (»obični«) tranzistor a sl. 8-18b za unipolarni (»FET«). Treći primjer overtorskog oscilatora, sl. 8-18c, također vrijedi za FET. Ovaj spoj je donekle sličan oscilatoru na sl. 8-13. Umjesto titrajnog kruga L_1C_1 stavljen je kvarc. Oscilacije se pobuđuju zahvaljujući postojanju unutrašnjih »povratnih« kapaciteta u FET-u. Slovom f označena je osnovna frekvencija kristala. Ona može, ali ne mora biti napisana na njemu. Oscilator titra na neparnoj overtorskoj frekvenciji koja je približno $3f$ ili $5f$ ili, možda još viša.

Overtorski oscilator može se kombinirati sa umnažanjem frekvencije. Na sl. 8-19a je kristal Q izbrušen tako da mu treći overtone iznosi 38,667 ili 43,333 MHz. UKV-amaterima su to poznate frekvencije! Emitterska struja protice titrajnim krugom koji resonira na tu frekvenciju, dok se — u kolektorskom strujnom krugu — resonancijom izdvaja treća harmonička frekvencija ove overtorske. Izlazni bandfilter resonira dakle na 116 ili na 130 MHz.

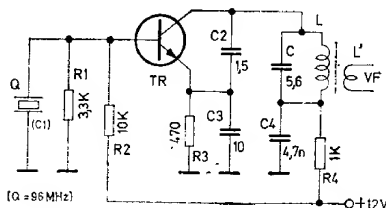
Ako takav kvarc, na kojemu nije napisana osnovna frekvencija, već njegov overtone, npr. 38,667 MHz (f) pobudimo, prema sl. 8-19b, možemo umnažanje frekvencije postići i na drugačiji način. Ovdje se to postiže diodom D . Najprije se resonancijom (L_1 i trimmer od 10 pF) pojača VF

struja dvostruke frekvencije ($2f$). Ova teče kroz diodu zajedno sa VF-strujom frekvencije f . Obje frekvencije se u diodi miješaju i proizvod toga, frekvencija $f + 2f = 3f$, vodi se u titrajni krug. On resonira baš na $3f$. Bez pomoćnog serijskog titrajnog kruga (sa L_2) bila bi amplituda frekvencije $3f$ znatno manja!

Zanimljiv je overtorski oscilator na sl. 8-20. Po mnogome nas može sjetiti na sl. 8-3. Glavna je razlika u tome da se ovdje umjesto kondenzatora C_1 nalazi kvarcov kristal Q . Ranije je kapacitet C_1 bio potreban da se »blokira« baza tranzistora, tj. da se baza »drži« na visokofrekventnom potencijalu »nula«. Na njoj nema VF potencijala i tek onda povratna veza (preko C_2/C_3) može ispravno djelovati da bi oscilator »proradio«.

Kvarcov kristal, kako znamo od ranije, može resonirati na dva načina: serijski i paralelno. Ovdje je odlučujuća serijska resonantna frekvencija kvarca. Ona postoji za osnovne, kao i za overtorske titraje. Neka bude serijska overtorska resonantna frekvencija kvarca Q upravo 96 MHz (obično je to onda peti overtone!). Na toj će frekvenciji visokofrekventna impedancija kvarca biti vrlo mala. Izlazi na to, kao da je baza »uzemljena«. Ali, to stanje vrijedi samo za serijsku resonanciju kristala! Ako je titrajni krug LC ugođen na 96 MHz, oscilator može titrati samo na toj frekvenciji!

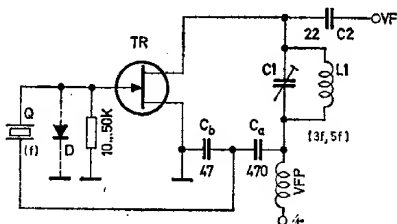
Jednostavan je i često upotrebljavan overtorski oscilator, prema



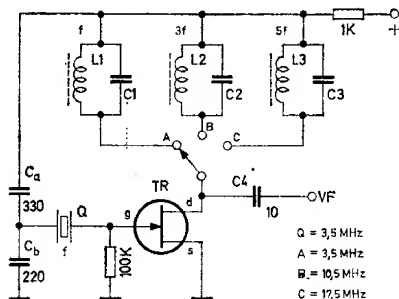
Sl. 8-20. Overtorski oscilator za frekvencije oko 100 MHz

sl. 8-21. U Engleskoj ga nazivaju »Dollar«, a u Americi »Jones«. Najprije je bio građen sa elektronskim cijevima, ali odlično radi i s FET-om. Povratna veza je osigurana kapacitivnim djeliteljem C_a/C_b . Povećanjem kapaciteta C_b povratna se veza smanjuje i obratno. Izlazni titrajni krug L_1C_1 mora resonirati na odabrani overtone.

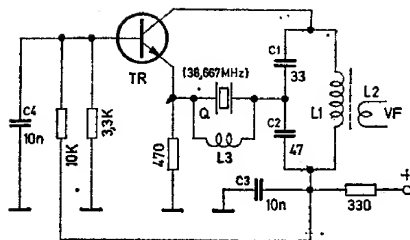
Svestraniju primjenu istog principa vidimo na sl. 8-22. Umjesto VF-prigušnice (VFP) upotrebljen je samo otpornik od 1 k Ω . Povratna veza (C_a/C_b) zato mora biti jača. Na izlazu, u strujnom krugu drejn-elektrode, može se preklopnikom odabrati jedan od ukupno tri titrajna kruga. Ako je prvi ugođen na osnovnu frekvenciju f , drugi na treću overtone, a treći na petu overtone.



Sl. 8-21. Jones-Dollar-ov overtonski oscilator



Sl. 8-22. Prema ovoj shemi može »džons-dollar« s jednim kvarcovim kristalom dati, po izboru, tri različite frekvencije. Jedna je osnovna, dok su druge dvije overtone (približno 3f i 5f). Za izbor frekvencije služi troljni preklopnik A, B, C

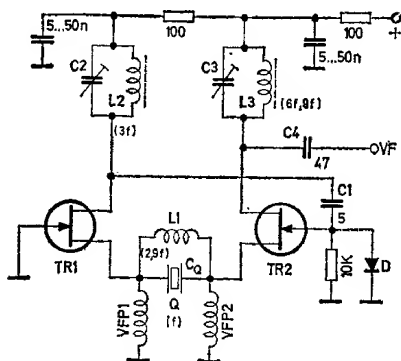


Sl. 8-23. Overtonski oscilator kod kojega je kvarcov kristal stavljen serijski u vod povratne veze. Kondenzator C_1 »drži« svojim povećanim kapacitetom bazu tranzistora na VF potencijalu »nula«. Baza je »visokofrekventno uzemljena«. Vidi tekst

sku frekvenciju kristala moći ćemo postići tri frekvencije upotrebom samo jednog kvarca.

I u oscilatoru, sl. 8-23, koji se pobuđuje na overtone kvarca, povratnu vezu omogućuje serijska resonancija kristala Q. Oscilacije bi se pobudile i onda, kada bismo umjesto kvarca stavili neki kondenzator. No, i sam držač kvarca ima svoj kapacitet. Da se ne bi preko toga kapaciteta pobudile neželjene oscilacije, dodana je zavojnica L_3 . Njezin je zadatak da, zajedno s kapacitetom samog kvarca, resonira u blizini onog overtone koji nam treba. Intenzitet povratne veze određen je i ovdje kapacitivnim razdjelnikom (C_1/C_2).

Butler (Batler) je konstruirao oscilator vrlo interesantnih svojstava. Otkad su tranzistori zamijenili elektronske cijevi, taj je oscilator pomalo zaboravljen. Za one koji vole eksperimentirati donosimo shemu na sl. 8-24. Upotrebljena su dva FET-a umjesto cijevi. Kvarc Q, osnovne frekvencije f , spojen je između surs-elektroda jedno i drugog tranzistora. Zavojnica L_1 i kapacitet kristalovog držača C_Q moraju resonirati na $2,9 f$, ukoliko želimo koristiti treći overtone. C_2L_2 ugodu se onda na frekvenciju $3f$, dok titrajni krug C_3L_3 može poslužiti za daljnje



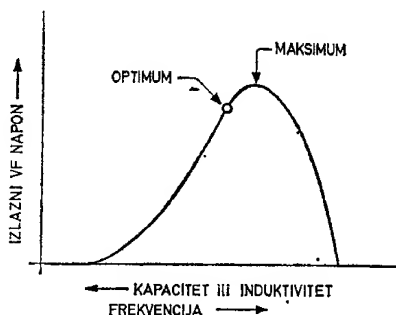
Sl. 8-24. Butler (Batler) je konstruktor nekad cijenjenog overtonskog oscilatora s dvije elektronske cijevi, triode. Zbog njegovih interesantnih mogućnosti ga ne treba zaboraviti, tim više jer, sagrađen sa modernim FET-ima, ima još bolja svojstva. Opis u tekstu

udvostručenje ili utrostručenje frekvencije. Na izlazu se dobije 6f ili 9f. Ako se služimo takvim umnožavanjem frekvencije, bolje je izostaviti diodu D. O njenoj ulozi je već bilo govora.

Pravilno ugađanje kristalnih oscilatora

Svaki kvarcov oscilator mora biti *pravilno* ugađen jer, ako onaj titrajni krug o kojemu ovisi da li će kvarc oscilirati ili ne, nije ugađen kako treba, ne može se očekivati ni pravilan rad.

Na izlaz oscilatora treba priključiti mjerni instrument za mjerenje visokofrekventnih napona, npr. neki VF-voltmetar ili jednostavnija mjerna sonda. Polazeći od nižih frekvencija, tj. smanjujući kapacitet ili induktivitet u titrajnom krugu, idući tako prema višim frekvencijama, opazit ćemo da se pojavljuju VF-oscilacije. Najprije im je amplituda malena, da *postepeno* raste do nekog maksimuma (sl. 8-25). Iza toga



Sl. 8-25. Promjena izlalnog VF napona kod ugađanja kristalnih oscilatora. Ne treba ugađati na maksimum, nego na optimum. Vidi tekst

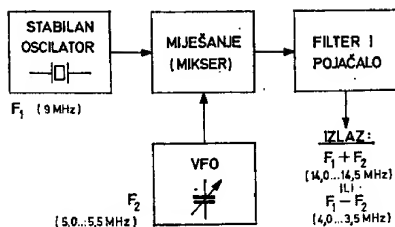
se naglo smanjuje i oscilacije ubrzo prestanu. Najbolje je titrajni krug ugoditi *malo* prema onoj strani na kojoj se amplituda sporije mijenjala, na vrijednost malo ispod maksimuma. To je najbolja radna točka. Oscilator je onda *optimalno* ugađen!

Ostale titrajne krugove, ako ih ima, a koji ne utječu izravno na rad kristalnog oscilatora (npr. C_3L_3 , sl. 8-24) ugađaju se tako da izlazni napon na odabranoj frekvenciji bude maksimalan.

UREĐAJI ZA SINTEZU FREKVENCIJJE

Grčka riječ »sintezis« znači sastavljanje. *Sintetske frekvencije* bi prema tome bile one kojih u postojećem oscilatoru nema, koje su na neki način *sastavljene*. Cilj takve sinteze nije samo postizavanje određenih frekvencija, jer bi do njih mogli doći i pomoću običnih oscilatora. Problem je u tome da oscilatori često nemaju dovoljnu stabilnost, osobito kod viših frekvencija.

Sinteza je potrebna onda, ako želimo postići *veću stabilnost*, ako trebamo *veći izbor frekvencija* ili *jednostavnije i spretnije rukovanje* radio-uređajima.



Sl. 8-26. Najpoznatija i najstarija sinteza (sastavljanje) potrebne vrijednosti frekvencije iz jedne stalne (F_1) i jedne promjenljive (F_2)

Sinteza frekvencije miješanjem

Miješanjem dviju frekvencija, F_1 i F_2 , u pogodnom uređaju, dobiju se — uz ostalo — nove frekvencije, $F_1 + F_2$ i $F_1 - F_2$, kao na sl. 8-26. Stabilan, kristalni oscilator proizvodi frekvenciju od, npr. 9 MHz. Drugi oscilator, VFO, oscilira u opsegu od 5 do 5,5 MHz. U tome opsegu možemo izabrati bilo koju frekvenciju i odvesti je u stupanj za miješanje, kamo se dovodi i frekvencija prvog oscilatora. Od različitih *produkata miješanja* filterom odaberemo onaj koji nam je potreban i pojačalom mu amplitudu dovedemo na iznos, prema namjeni. Na izlazu, u konkretnom primjeru, možemo birati *ili* frekvencije *dvadesetmetarskog* (14 do 14,5 MHz) *ili* *osamdesetmetarskog* opsega (3,5 do 4 MHz). Redoslijed frekvencija je, doduše, obrnut (ide od 4 do 3,5 MHz!), ali to

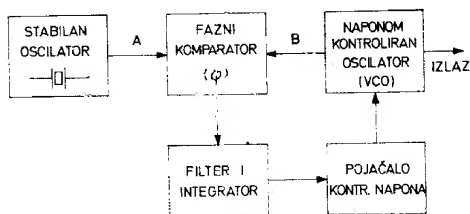
obično, osobito u amaterskim gradnjama, ne smeta.

Na takav način mogu se postići vrlo stabilne visoke frekvencije u *svim* amaterskim kratkovalnim opsezima. Treba samo u kvarcovom oscilatoru upotrebiti kristale odgovarajućih frekvencija.

Sinteza frekvencije digitalnim integriranim sklopovima. PLL

Oscilator, u kojemu bi se umjesto promjenljivog kondenzatora nalazila *varikap-dioda*, proizvodio bi titraje s frekvencijom, ovisnom o naponu na diodi. To bi bio dakle *naponom kontroliran oscilator*, VCO. (Kratice VCO načinjena je prema engl. nazivu: Voltage Controlled Oscillator.) Stabilnost frekvencije mu ovisi o konstantnosti napona na »varikapu«.

U prvom primjeru, sl. 8-27, frekvencija iz VCO *upoređuje* se s frekvencijom iz oscilatora veće stabilnosti. Ako se frekvencija A i frekvencija B podudaraju, nema razlike među njima. Ako VCO *malo požuri ili malo uspori*, očituje se to najprije kao *razlika u fazama*. Kao upoređivač faze (*fazni komparator*) može poslužiti i logički sklop »i« (*»AND«*), sl. 8-28. Oscilacije jednoga i drugoga oscilatora dobile su prethodno (npr. ograničenjem amplitude) *četvrtast oblik*. Jedan niz se dovodi na priključnicu A. Drugi stiže na priključnicu B. Ako su frekvencije i faze iste, sl. 8-28a, digitalni



Sl. 8-27. Blok-shema uređaja za sintezu frekvencije pomoću digitalnih integriranih sklopova (eng. Synthesizer, čit. sintesajzer). Princip s upoređivanjem faze (PLL)

se sklop *sinhrono otvara na obim vratima* (gejtima) pa je izlazni niz jednak ulaznim nizovima »četvrtki«.

Već kod malih *pomaka faze* (faza = stanje titranja) bit će otvaranje digitalnog sklopa kraće: izlazni su impulsi ostali *iste frekvencije*, ali im je *trajanje kraće*, sl. 8-28b.

Postanu li faze *suprotne*, sl. 8-28c, digitalni sklop se uopće *ne može otvoriti*.

Izlaz iz takvog faznog komparatora mora proći kroz filter i doći u *integrator*. Filter je u najjednostavnijem slučaju otpornik kroz koji se opisanim impulsima električne struje puni neki kondenzator. On »integrira«, što znači da *zbraja impulse*. Napon na kondenzatoru je veći ako su impulsi »širi«, uz inače jednaku frekvenciju. Taj napon on-

da — iza odgovarajućeg pojačanja — *služi kao kontrolni napon kojim se popravlja frekvencija VCO-a*. Iz njega izlazi mnogo stabilnija frekvencija nego li bi bila bez opisane kontrole.

U ovom jednostavnom primjeru je frekvencija oscilatora VCO jednaka frekvenciji kvarcovog oscilatora. Konstantnost se održava *regulacijskom faznom petljom*, nazvanom PLL. Ova kratica je opet uzeta iz engleskog: Phase Locked Loop = fazno »zaključana« petlja!

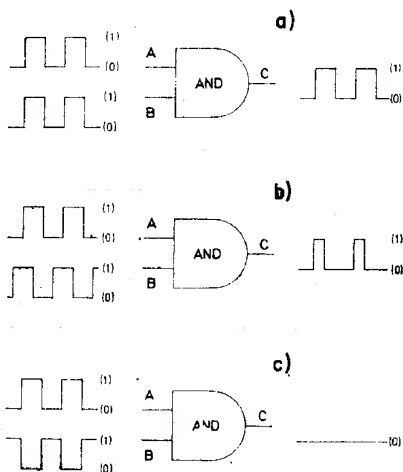
Mnogo je interesantnija PLL-kontrola kod koje je moguće po volji odabirati između više različitih stabilnih frekvencija, sl. 8-29. Kao novost, prema sl. 8-27, je stupanj koji sadrži *djelitelj frekvencije*. On se može »programirati«, što znači da možemo birati divizor »n«, tj. broj s kojim se frekvencija dijeli.

Oscilator s kvarcom je stabilan »uzorak« ili *referentna frekvencija*. S tim uzorkom se, u faznom komparatoru, upoređuje ona frekvencija koja dolazi iz djelitelja.

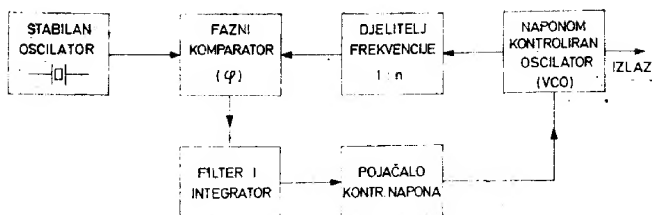
Ako naš stabilni, »uzorni« oscilator radi na frekvenciji od 500 kHz, onda VCO može oscilirati na bilo kojoj frekvenciji koja je *cjelobrojni umnožak* ove frekvencije. Evo razloga: Neka djelitelj dijeli sa 6. Tada VCO oscilira na 3000 kHz. ($3000 : 6 = 500$). U fazni komparator stiže onda ista frekvencija koja dolazi i iz stabilnog oscilatora. *Regulacijska PLL-petlja*, koja se preko integratora i pojačala kontrolnog napona zatvara, djeluje na VCO i održava njegovu frekvenciju konstantnom. Uz dijeljenje sa 7, 8, 9, 10, 11 i tako redom, mogu se ovom PLL-regulacijom održati konstantnima frekvencije: 3500, 4000, 4500, 5000, 5500 kHz itd.

Višestruke PLL regulacijske petlje

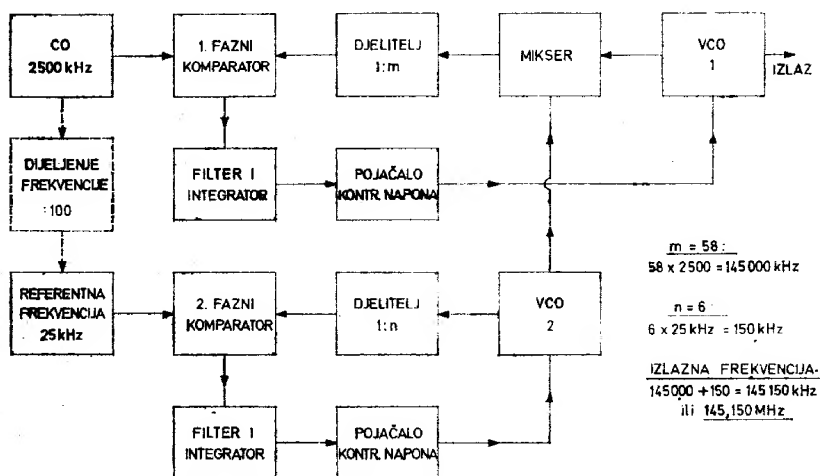
Višestrukim PLL-petljama može se postići da niz stabiliziranih frekvencija bude »gušći« i da nam takav uređaj omoguću izbor većeg broja radnih »kanala«, sa definira-



Sl. 8-28. Komparator faze. U najjednostavnijem slučaju to može biti logički sklop »i« (»AND«). Stanje koje pripada tzv. logičkoj »muli« označeno je ovako: (0). Logička »jedinica« označena je sa: (1). A i B su ulazni gejtovi (»vrata«). Slovom C je označen »izlaz«. Crtež a) vrijedi u slučaju kada su frekvencije i faze oscilatora, koje stižu na A i B, međusobno sasvim jednake; b) kada postoji neka fazna razlika; c) kada su faze oscilacija suprotne. Ostalo u tekstu.



Sl. 8-29. Ako se fazna kontrolna petlja (PLL) proširi dodavanjem programiranog djelitelja frekvencije, oscilator VCO može jednako stabilno raditi na nizu izlaznih frekvencija. Vidi tekst



Sl. 8-30. Primjer blok-sheme za postizavanje fazno kontroliranog niza stabilnih frekvencija primjenom dvostruke PLL-petlje, s djeliteljima frekvencije $(1:m)$ i $(1:n)$ i stupnjem za miješanje (mikser). O tome više u tekstu

nim međusobnim razmacima. Ovo može biti važno za održavanje radio-veze u otežanim uvjetima, npr. između vozila u pokretu kada vozač mora svoju pažnju koncentrirati na vožnju i nema mogućnosti da na radio-stanici »traži« partnera.

Jedan takav primjer vidimo na blok-shemi, sl. 8-30. Postoje dva izvora referentnih frekvencija. Jednu (2500 kHz) daje kristalni oscilator CO. Druga je 25 kHz. Da među tim izvorima frekvencija ne dođe do nesklada, druga se frekvencija dobije iz prve digitalnim dijeljenjem sa 100.

Dva naponski regulirana oscilatora, VCO-1 i VCO-2, svaki sa svo-

jim djeliteljem (sa »m« i sa »n«) i svojim faznim komparatorima, filterima i integratorima, uključeni su u dvije odijeljene PLL-petlje. One su povezane samo u »mikseru«, tj. u stupnju za miješanje, gdje se frekvenciji koja je stabilizirana jednom PLL-petljom dodaje druga frekvencija, stabilizirana drugom sličnom regulacijskom petljom ($F_1 + F_2$, kao u primjeru na sl. 8-26). Ako je divizor $m = 58$, a divizor $n = 6$, izlazna frekvencija će biti 145,150 MHz. Ovo odgovara predajnoj frekvenciji za rad preko dvometarskog repetitora u kanalu R6. Mijenjajući samo divizor n , možemo mijenjati frekvencije u skokovima od 25 kHz.

Neobičan VFO sa PLL kontrolom za samogradnju

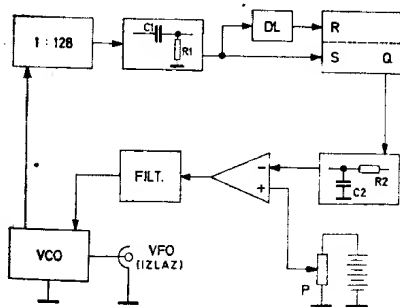
U stručnoj literaturi smo pronašli i sagradili smo za pokus ovaj doista neobičan oscilator sa PLL kontrolom.

Sheme na sl. 8-31 i sl. 8-32 pokazuju da je autor (DK8BH, »CQ-DL«, 3/1981) ovaj VFO sagradio koristeći »liniju za kašnjenje« (»Delay Line«), poznatu iz televizijske tehnike, kao »referentni element« za kontrolu i stabilizaciju frekvencije.

Svaki impuls koji uđe u »liniju kašnjenja« izlazi iz nje 64 mikrosekunde kasnije. Izračunamo li recipročnu vrijednost (1/T) dobijemo frekvenciju 15,625 kHz, što odgovara frekvenciji horizontalnih linija na televizoru.

Potreban opseg frekvencija može se postići oscilatorom VCO (»Voltage Controlled Oscillator«) s tranzistorima TR_1 i TR_2 (uporedi sl. 8-32 sa blok shemom, sl. 8-31). Frekvenciju treba mijenjati od 8,7 do 9,2 MHz, kako je to, npr. predviđeno za originalni tvornički VFO (»FV-101-B«) za primopredajnike »FT-101« i »FT-277«. Frekvencija VCO-a mijenja se promjenom napona na varikap diodama D_1 i D_2 .

Razumije se da taj oscilator može biti sagrađen i za neki drugi op-



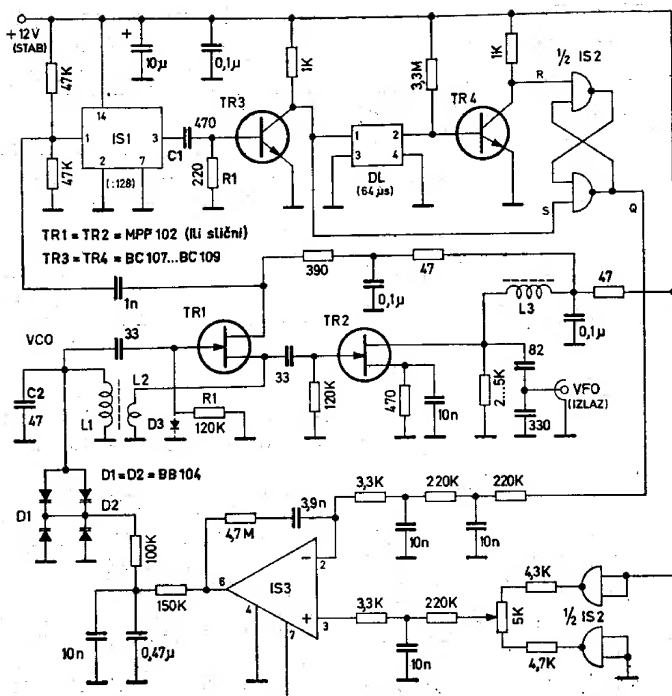
Sl. 8-31. Blok-shema, prema sl. 16-22, za lakše praćenje rada pojedinih stupnjeva. VCO je naponski kontroliran oscilator. DL je »linija kašnjenja«. Ostalo u tekstu

seg frekvencija, npr. od 5,0 do 5,5 MHz. Treba, ipak, paziti da se unutar opsega ne obuhvati i frekvencija koja bi bila cjelobrojni umnožak od 15,625 kHz.

Frekvencija koju proizvodi VCO vodi se najprije u digitalni djelitelj frekvencije. Iz djelitelja (IS1) izlaze impulsi sa 128 puta nižom frekvencijom. Ove impulse pretvaramo diferenciranjem pomoću C_1R_1 (470 pF i 220 Ω) u vrlo šiljate naponske »igle«, pojačamo ih i oni odlaze na »DL-64 μ s«. U liniji kašnjenja impulsima se amplituda smanji i potrebno je da ih se pojača. To se postiže tranzistorom TR_1 . Iz njegovog kolektorskog strujnog kruga impulsi odlaze na jedan ulaz RS-bistabila (»flip-flopa«) koji je sastavljen od dva NAND-gejta (»NI« vrata) koji su ugrađeni u integrirani sklop IS2. Drugi ulaz istog flip-flopa prima impulse bez zakašnjenja. Kad takav impuls »otvori vrata«, struja kroz bistabil poteče, ali već 64 mikrosekunde kasnije »vrata se zatvore«. Nastao je »četvrtasti« impuls koji traje 64 μ s. Broj takvih impulsa ovisi o frekvenciji pa će kod više frekvencije takvih impulsa biti više i obratno.

Komparator IS3, koji ima vrlo veliku ulaznu impedanciju, upoređuje dva napona. Jedan napon koji dolazi na komparator je dobiven integracijom impulsa u RC-lancu (dva puta po 220 k Ω i dva puta po 10 nF). Taj napon je ovisan o broju četvrtastih impulsa koji dolaze sa priključnice Q flip-flopa RS. Drugi napon za upoređivanje dolazi sa preciznog potencijometra (5 k Ω). Ovaj se napaja stabiliziranim naponom preko preostala dva NAND-gejta (u IS2). Oni imaju zadatak da sudjeluju u djeljitelju napona i da svojom prisutnošću izjednače eventualne utjecaje promjena temperature na rad NAND-sklopova, unutar IS2.

Izlazni napon što ga daje komparator koristi se kao zaporni pred-napon za varikap-diode. Na taj je način regulacijska petlja zatvorena.

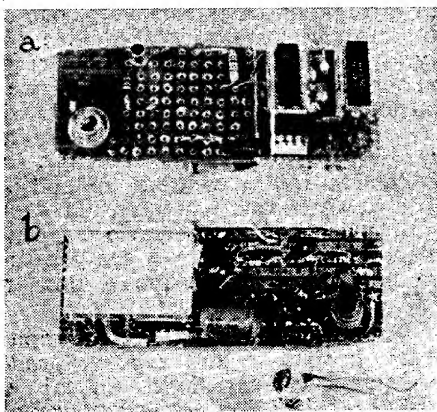


Sl. 8-32. VFO velike stabilnosti, prema DK8BH. IS1 = djelitelj sa 128 (HEF-4024 BP); IS2 = četverostruki NAND (CD-4011-AE); IS3 = komparator s velikom ulaznom impedancijom (LF-12741); DL = linija kašnjenja (Sylvania SDL-145; Grundig GV-5)

Pokaže li oscilator »namjeru« da svoju frekvenciju promijeni, regulacijska petlja se »pobrine« da se

na varikap-diodama prednapon izmijeni vraćajući frekvenciju na »pravu vrijednost«. Kao referencija, prema kojoj se ravna regulacijska petlja, je zakašnjenje impulsa u »DL-liniji«. To nije toliko precizno kao frekvencija nekog kvarcovog kristala, ali još uvijek mnogo bolje nego bilo koji »običajni« VFO.

VFO koji smo prema ovom opisu načinili (sl. 8-33) bio je malenih

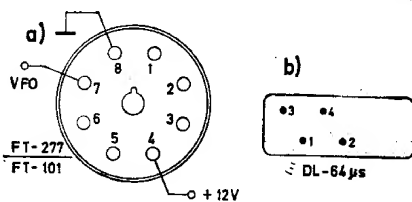


Sl. 8-33. Pokusna izvedba uređaja, prema sl. 8-32. U svrhu »minijaturizacije« svi su dijelovi montirani zbijeno (što inače nije nužno). a) pogled s jedne i b) pogled s druge strane pločice (Ing. N. Šaban)

dimenzija, titrajni krug »sam po sebi«, zbog minijaturnih i ne osobito kvalitetnih zavojnica (L_1 i L_2), nije mogao jamčiti dovoljnu stabilnost frekvencije. Uz opisanu regulacijsku petlju frekvencija je bila vrlo stabilna, čak stabilnija od — inače vrlo dobrog VFO-a koji je, npr. ugrađen u »FT-101«. Potencijometrom od 5 k Ω mogla se odabrati frekvencija u opsegu između 8,6 i 9,3 MHz (kao i u opsegu od 4,95 do 5,55 MHz, uz izmjenjene zavojnice u VCO-u).

Ako netko želi da takav VFO spoji na primopredajnik FT-101 ili FT-277 može to napraviti preko 8-polne oktalne priključnice na stražnjoj strani aparata, prema sl. 8-34a. Pokraj toga, sl. 8-34b, je pogled na donju stranu linije kašnjenja »DL-64 μ s« sa rasporedom

priključaka. Njihova se numeracija slaže sa onom na shemi, sl. 8-32.



Sl. 8-34. a) utičnica na primopredajniku »FT-101« (ili »FT-277«) ima raspored priključaka kao »oktalno« podnožje za elektronske cijevi. Određena je za spoj sa dodatnim VFO-om. Na nju se može priključiti i uređaj prema sl. 8-32; b) raspored nožica na liniji kašnjenja, gledan sa donje strane kućišta (inače se upotrebljavaju u kolor-televizorima. Dimenzije su 37×8×29 mm)

PRIJEMNICI

VRSTE PRIJEMNIKA

Radio-prijemnika ima mnogo različitih vrsta, već prema tome kakvoj svrsi treba da služe, za kakve su valne dužine predviđeni i kolika im smije biti cijena. Najjeftiniji su i najjednostavniji tzv. *detektorski* prijemnici za prijem radiofonije na srednjevalnom području, a najskuplji i najbolji su oni koje nazivamo *kommunikacijski* prijemnici i koji služe za održavanje radio-veza.

Svaki radio-prijemnik ima veći ili manji broj sastavnih dijelova. Pojedine grupe sastavnih dijelova koje služe određenom zadatku, čine tzv. stupnjeve (stepene) prijemnika. Na sl. 9-1 su prikazane *blok-sheme* različitih radio-prijemnika tako da je svaki pojedini stupanj nacrta u obliku četvorine.

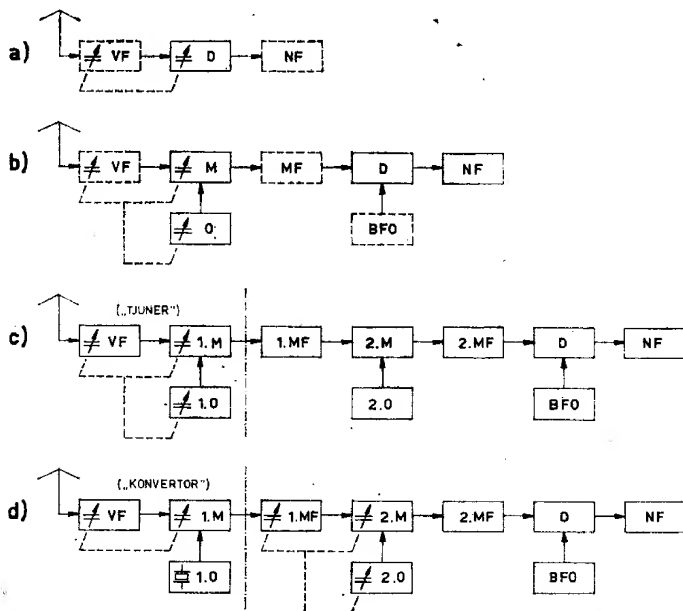
Na sl. 9-1a je blok-shema najjednostavnijih prijemnika. Svaki radio-prijemnik mora imati *demodulator D*. Kod jednostavnog detektorskog prijemnika za srednjevalnu radiofoniju tu je redovito i neki uređaj kojim se prijemnik dovodi u *resonanciju* sa frekvencijom radio-vala određene stanice. To je obično neki titrajni krug na koji se nadovezuje kristalna dioda i, iza ove, slušalice. Ako radio-stanica nije predaleko i ako je takav prijemnik priključen na dobru antenu bit će prijem ugodno glasan. Bolji se prijem, kao što znamo, može postići, ako umjesto kristalne diode kao demodulator upotrebimo neku pogodnu elektroniku cijev ili tranzistor. Tada se već u demodulatorskom stupnju može postići znatno pojačanje i mnogo

kvalitetniji prijem. U radio-amaterskom »jeziku« se takav prijemnik označuje sa O-V-O, što znači da postoji samo demodulatorski stupanj (V).

Glasnoću reprodukcije možemo pojačati, ako dodamo *niskofrekventno pojačalo* (NF) iza demodulatora. Ima li to niskofrekventno pojačalo samo jedan stupanj, onda takav prijemnik označujemo kao O-V-1. Stavimo li dva niskofrekventna stupnja imamo O-V-2.

Dodatak *visokofrekventnog pojačala* ispred demodulatora povećava osjetljivost prijemnika. Budući da se u visokofrekventnom stupnju redovito nalaze i dodatni titrajni krugovi, lakše je razdvojiti dvije radio-stanice kojima su frekvencije blizu jedna drugoj pa je i tzv. selektivnost bolja. Oznaka za takav prijemnik sa jednim visokofrekventnim stupnjem je 1-V-1 ako iza demodulatora ima samo jedan niskofrekventni stupanj. Razumije se da su moguće i druge kombinacije: 1-V-2, 2-V-1, kao i 2-V-2. Ipak, ova vrsta prijemnika, koje nazivamo još i *direktnim* prijemnicima, nije danas više tako raširena kao nekada. Industrije ih uopće više ne proizvode, a radio-amateri ih grade samo još dok su početnici da pomoću takvih prijemnika steknu svoja prva iskustva.

Za takvu se gradnju danas ne upotrebljavaju elektronske cijevi. Amater-početnik načinit će »direktni« prijemnik s jednim ili, najviše, s dva-tri tranzistora, da kasnije gradi bolji, tzv. superheterodinski ili barem heterodinski prijemnik.



Sl. 9-1. Osnovne blok-sheme prijemnika: a) princip »običnih« ili »direktnih« prijemnika tipa 0-V-0, 0-V-1 i 1-V-1; b) superheterodin s jednostrukom konverzijom, tzv. jednostruki super; c) dvojni super s ulaznim dijelom »tunerskog« tipa; d) dvojni super s ulaznim dijelom »konvertorskog« tipa

Blok-shemu superheterodina, ili kraće *supera*, prikazuje sl. 9-1b. Za ovu vrstu prijemnika je tipično to da imaju vlastiti lokalni oscilator O. Ovaj proizvodi titraje takve frekvencije (f_o) da oni u stupnju za miješanje M zajedno s frekvencijom signala koji želimo primiti (f) daju tzv. međufrekvenciju (f_m). Pri tome je frekvencija oscilatora najčešće viša od prijemne frekvencije ($f_o = f + f_m$), ali može biti i niža od nje ($f_o = f - f_m$). Ovako dobivena međufrekvencija zadržava neke karakteristike prijemne frekvencije, osobito informaciju koju sobom donosi. Iza pojačanja u posebnom međufrekventnom pojačalu (MF) signal se privodi demodulatoru (D) i, iza njega, u niskofrekventno pojačalo (NF). Za prijem telegrafije ili SSB-signala potreban je još posebni pomoćni oscilator (BFO), a za povećanje osjetljivosti prijemnika i

visokofrekventno pojačalo (VF) ispred stupnja za miješanje.

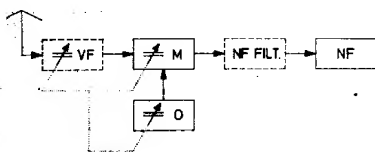
Najjednostavniji super najmanje mora imati stupnjeve M, O, D i NF. Najveći broj radiofonskih prijemnika građen je po superheterodinskom principu. Takav radio-aparat ima stupnjeve M, O, MF, D i NF. Dobar komunikacijski prijemnik ima redovito sve stupnjeve, označene na sl. 9-1b.

Komunikacijski prijemnici, osobito oni za prijem vrlo kratkih valova, često su dvojni superi. Kod njih se frekvencija primanog signala u prvom stupnju za miješanje (1.M) pomoću prvog oscilatora (1.O) pretvara najprije u tzv. prvu međufrekvenciju (1.MF), kako je to označeno na sl. 9-1c) i d). Kad je ova dovoljno pojačana, drugo će ju miješanje (2. M) sa drugim oscilatorom (2. O) pretvoriti u drugu međufrekvenciju (2. MF). Tek onda

stigne signal do demodulatora (*D*) i dalje opisanim putem. Frekvencija prijemnog signala se dva puta mijenja (transponira ili konvertira), pa zato takve prijemnike nazivamo i prijemnicima s *dvostrukom transpozicijom*, odnosno *dvostrukom konverzijom*. Pri tome prvi oscilator (*1. O*) može biti promjenljiv. Tada je frekvencija drugog oscilatora stalna. Signale stanice koju želimo primiti moramo »namještati« promjenom frekvencije na ulazu prijemnika. Ako je takav »ulazni dio« postavljen ispred nekog običnog prijemnika, nazivaju ga »*tuner*« (čitaj: *tjuner*). Dodatkom takvog tunera može se svaki jednostruki super odmah pretvoriti u prijemnik s dvostrukom transpozicijom. Razumije se, da dodatak tunera omogućuje prijem na bilo kojem valnom području, proširujući tako prijemne mogućnosti onog radio-aparata ispred kojeg je priključen.

Ispred bilo kojeg radio-aparata možemo staviti i tzv. »*konvertor*«, tj. uređaj kojim možemo bilo kakvo valno područje promijeniti ili »prebaciti« na ono koje taj aparat može dobro primati. U takvom slučaju oscilator konvertora (*1. O*) radi na stalnoj frekvenciji, sa kvarcovim kristalom ili bez njega, dok pojedine stanice »tražimo« mijenjanim frekvencije oscilatora u priključenom prijemniku (*2. O* na sl. 9-1d).

U novije vrijeme se sve više širi, osobito za amaterske samogradnje, poseban tip prijemnika, poznat pod nazivom *prijemnik sa direktnom konverzijom* ili *sa direktnim miješanjem*.



Sl. 9-2. Blok-shema heterodinskog, tzv. prijemnika s direktnom konverzijom. Vidi tekst

Na blok-shemi, sl. 9-2, vidimo da je to prijemnik koji je vrlo sličan »superima«, barem po tome što ima stupanj za miješanje (*M*) i oscilator (*O*). Razlika je u tome da je ovdje frekvencija oscilatora izjednačena s prijemnom frekvencijom. *Međufrekvencije nema*. Rezultat miješanja je *odmah demodulirani niskofrekventni signal*.

Obzirom na činjenicu da je kod prijemnika sa direktnom konverzijom potreban oscilator, pristaje mu i ime »heterodinski prijemnik« [prema grčkom: »hetero-dinamis = strana (tuđa) pomoć (sila)«].

GLAVNE KARAKTERISTIKE PRIJEMNIKA

Prije nego opisujemo tipične primjere pojedinih stupnjeva u prijemnicima treba, barem u osnovnim crtama, nabrojiti ono glavno što služi za prosuđivanje kvalitete radio-prijemnika. To su: osjetljivost, selektivnost, prisutnost neželjenih signala, unakrsna modulacija i blokiranje, te stabilnost.

Osjetljivost

Pojačanje koje treba postići nekim prijemnikom treba da je to veće što su signali slabiji. Dodavajući prijemniku sve veći broj stupnjeva dolazi se konačno do toga da je svako daljnje dodavanje besmisleno. Uslijed vanjskih električnih smetnji i uzroka koji leže u samom prijemniku, osobito u njegovim ulaznim stupnjevima, javlja se šum koji onemogućuje prijem slabih signala. Prema tome, za prijem slabih signala nije mjerodavna ukupna veličina pojačanja koje se može postići u stupnjevima nekog prijemnika. Primiti se mogu samo oni slabi signali koje još možemo čuti iznad šumova. Osjetljivost prijemnika zato treba određivati kao najmanji visokofrekventni napon na ulazu (između antenske priključnice

i uzemljenja), potreban da se postigne reprodukcija u zvučniku ili u slušalicama određene glasnoće uz neki definirani *odnos signala prema šumu* (odnos signal/šum) ili tačnije: odnos signala sa šumom prema šumu (odnos signal + šum/šum).

Ovako stroga definicija osjetljivosti prijemnika je osobito važna kod prijemnika za kratke valove, posebno za one koji su određeni za prijem frekvencija od 20 MHz na više. Kod tih vrlo visokih frekvencija šum nastaje pretežno u samom prijemniku, dok su atmosferske smetnje slabije izražene. Za obične radio-aparate dovoljno je reći da, npr. ulazni visokofrekventni napon mora biti 10 μV , da se postigne izlazna snaga od 50 mW, ako je signal moduliran sa 30%. Za komunikacijske prijemnike treba osjetljivost definirati preciznije. Za neki vrlo dobar kratkovalni prijemnik ove vrste bit će, npr. osjetljivost za prijem telegrafije: 1 μV za odnos signal/šum od 10 dB uz širinu međufrekventnog »kanala« od 1,5 kHz; ili za AM-telefoniju: 3 μV za odnos signal/šum od 10 dB uz širinu međufrekventnog kanala od 6 kHz i stupanj modulacije od 30%.

Budući da je izvor vlastitog šuma redovito u ulaznim stupnjevima prijemnika, bit će odnos signal/šum ovisan o konstrukciji. Najmanji mogući vlastiti šum i najpovoljniji odnos signal/šum, dakle i najbolji mogući prijem s nekim konkretnim prijemnikom, može se postići ako je — ovisno o vrsti signala koji se prima — selektivnost prijemnika maksimalna (tj. međufrekventni kanal mora biti tako uzak da je prijem upravo još omogućen, razumljiv i bez znatnijih iskrivljenja).

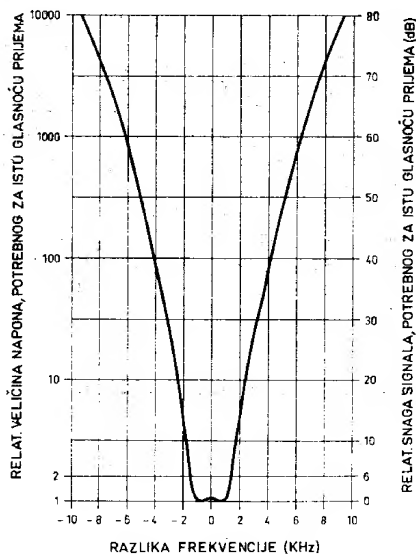
Izvrježbano uho dobrog radio-telegrafiste može primati i mnoge signale koji su »u šumu«, pa se veza može održati i onda kad su

signali slabiji od onih vrijednosti koje su navedene kao mjera za osjetljivost prijemnika.

Selektivnost

Sposobnost prijemnika da može odijeliti signale stanica koje emitiraju na međusobno blizim frekvencijama mjeri se *selektivnošću*. Ukupna selektivnost ovisi o broju i o vrsti titrajnih krugova. Glavni doprinos selektivnosti potječe od titrajnih krugova u međufrekventnom pojačalu, ali također ovisi o opsegu niskih frekvencija koje mogu proći kroz NF pojačalo.

Krivulja na sl. 9-3 prikazuje selektivnost dobrog komunikacijskog prijemnika. Nazivaju je i krivuljom resonancije. Takvim ćemo prijemnikom neki signal čuti određenom glasnoćom. Da neki drugi signal kojemu je frekvencija samo za 4 kHz viša ili niža čujemo *jednako glasno*, morao bi on, prema toj krivulji, na ulazu u prijemnik imati sko-



Sl. 9-3. Krivulja koja pokazuje selektivnost nekog komunikacijskog prijemnika

ro 100 puta veći napon (ili: morao bi biti za skoro 40 dB jači). Signal kojemu se frekvencija od primanog razlikuje za 10 kHz morao bi biti za više od 80 dB jači (više nego 10.000 puta veći ulazni napon) da bismo ga mogli jednako čuti.

Dogovoreno je da se kao mjera za selektivnost odredi širina ovakve krivulje za vrijednosti od 6 dB i od 60 dB, tj. za dvostruke i za hiljadu puta veće napone. Selektivnost komunikacijskog, prijemnika kojemu pripada krivulja na sl. 4-2 iznosi 3,1 kHz za odnos među signalima od 6 dB, a 12,4 kHz za odnos od 60 dB.

Obični radio-aparati imaju znatno manju selektivnost. Dobar »koncertni« (radiofonijski) super ima širinu međufrekventnog kanala prilagođenu potrebama prijema radiofonijskih, amplitudno moduliranih (AM) signala, pa je selektivnost obično 9 kHz za odnos među signalima od 6 dB.

Potiskivanje susjednih frekvencija ovisi i o *strmini bokova* krivulje resonancije. Ta strmina se određuje iz omjera širine propusnog pojasa kod odnosa među signalima od 6 dB i širine propusnog pojasa od odnosa od 60 dB. Kod najboljih komunikacijskih prijemnika ovaj omjer iznosi za prijem telgrafije 0,25. Za prijem telefonije on može biti 0,5.

Najveća *upotrebljiva* selektivnost kod 6 dB je za prijem telegrafije uz širinu kanala oko 150 Hz, a za prijem telefonije (SSB) oko 2.000 Hz.

Prisutnost neželjenih signala

Jedan od najvećih nedostataka jednostavnijih supera je u tome da se često istu stanicu može čuti na dva različita mjesta skale, na jednom »pravom« mjestu i na još jednom, gdje se javlja kao tzv. »*zrcalna frekvencija*«. U prvom slučaju je prijem normalan, tj. oscilatorska frekvencija je za međufrekven-

ciju viša od frekvencije signala koji primamo. Zrcalna frekvencija se, ako je selektivnost na ulazu prijemnika nedovoljna, javlja kad je oscilatorska frekvencija za međufrekvenciju niža. Zbog toga na običnim radiofonijskim prijemnicima sve jače kratkovalne stanice čujemo dvaput, s razmakom koji je uvijek jednak dvostrukoj vrijednosti međufrekvencije. Zato i čitav niz snažnih kratkovalnih radio-stanica na jednostavnijim prijemnicima, s međufrekvencijom od 455 kHz, »upada« u 20-metarski amaterski valni opseg, iako stvarno rade u radiofonijskom opsegu od 19 metara!

Za prijem telegrafije je potreban *pomoćni oscilator* (BFO). Ako on nije dobro oklopljen mogu njegove harmonične više frekvencije prodirjeti na ulaz prijemnika i »javiti« se u kratkovalnom području kao neki konstantni val nosilac. Čim taj oscilator isključimo nestane i »*fantomskog signala*«. Ima li u prijemniku još i drugih oscilatora, prilike mogu postati još zamršenije (kod loše sagrađenih dvostrukih ili trostrukih supera!), što otežava posao konstruktoru.

Prijem »zrcalnih« frekvencija javlja se kod svih supera. On se opaža to jače, što je međufrekvencija niža, a prijemna frekvencija viša. Svaki bolji prijemnik mora u svojoj svjedodžbi imati i podatke o osjetljivosti za zrcalne frekvencije na različitim prijemnim područjima. Najvažniji je podatak onaj koji se tiče najviše prijemne frekvencije. Za »koncertne« radio-aparate ovo nije osobito važno, ali komunikacijski prijemnik mora zadovoljavati strožim kriterijima. Osjetljivost na zrcalne frekvencije morala bi biti barem 32 puta (30 dB) slabija od osjetljivosti za najvišu prijemnu frekvenciju.

»Fantomski signali« se mogu vrlo teško izbjeći u superima sa višestrukom konverzijom, ako su predviđeni za prijem mnogih, širokih kratkovalnih područja. Pri gradnji amaterskih komunikacij-

skih prijemnika treba nastojati da jači »fantomi« ne padnu unutar relativno uskih opsega, određenih za radio-amaterske veze. Treba smatrati idealnim prijemnikom u tom pogledu onaj za koji se može reći da su svi fantomski signali ispod nivoa šuma.

Unakrsna modulacija i blokiranje prijemnika

Iako neki prijemnik ima odličnu selektivnost, vrlo dobro potisnute zrcalne frekvencije i nezamjetljive »fantome«, mogu preostati posebne poteškoće koje potječu od iznimno jakih signala lokalnih ili udaljenih stanica. Ako je snažan signal podalje od prijemne frekvencije, on neće ući ni u međufrekventno ni u niskofrekventno pojačalo, ali ipak može utjecati na prijem izazivajući tzv. *unakrsnu modulaciju i blokiranje* prijemnika.

Ako vrlo jaki signal stigne na ulaz prijemnika kojemu je osjetljivost prilagođena prijemu slabih signala, može se dogoditi da bude u ulaznim stupnjevima prijemnika koji imaju premalu selektivnost snažno pojačan. Ovakvi prejaki signali lako mogu dovesti jedan od stupnjeva u nelinearno područje, pa se prijem slabijeg signala znatno utiša ili sasvim onemogućuje (*blokiranje*) ili se slabom signalu nametne modulacija koja pripada jačemu (*unakrsna modulacija*).

Što je više stupnjeva koji u prijemniku pojačavaju signal prije onog diela koji određuje selektivnost, to je veća vjerojatnost da će u nekom od njih doći do ovih pojava. Poradi toga se mora pri samoj konstrukciji većih prijemnika, dvostrukih ili trostrukih supera, gdje su ispred stupnjeva velike selektivnosti barem jedan stupanj za visokofrekventno pojačanje i dva ili tri stupnja za mješanje, nastojati da pojačanje u ulaznim stupnjevima ne bude preveliko. Među-frekventno pojačalo u kojem je se-

lektivnost najveća treba da posluži i za najveće pojačanje signala.

Kod inače vrlo dobrih i skupih prijemnika događa se da je unakrsna modulacija prisutna i kod prijema nekog slabog signala koji je, npr. za 50 kHz udaljen od drugog snažnog signala koji dolazi sa $S_9 + 60$ dB ili samo 15 do 20 kHz od signala koji »upada« $S_9 + 40$ dB. Kod dvojnih supera unakrsna će modulacija u takvom slučaju nastati redovito tek u drugom stupnju za mješanje. Još jači signali ($S_9 + 50$ dB i više) mogu kod nekih prijemnika, osobito kod onih koji imaju *preveliko* visokofrekventno pojačanje, unakrsnu modulaciju proizvesti već u prvom stupnju za mješanje. Treba napomenuti da u tom pogledu ima i znatno gorih prijemnika. Osobito često se to zapaža kod loše građenog amaterskog dvojnog supera.

Hoće li se ove poteškoće kod nekih prijemnika pokazati u većoj ili manjoj mjeri, ovisi o nizu faktora. U prvom redu to ovisi o tome na koji je način pojačanje signala raspoređeno po različitim stupnje-

Tablica 9-1. Raspored pojačanja po različitim stupnjevima kratkovalnih prijemnika (za CW i SSB)

Stupanj	Pojačanje (dB)	
	nedavno	sada
Ulaz i VF pojačanje	30	
Prvo mješanje	10	10
Drugo mješanje	10	
MF pojačanje	70	80
Produkt-detektor	10	10
NF pojačanje	10	40
Ukupno pojačanje	140 dB	140 dB

vima (vidi tablicu 9-1), o upotrebljenim cijevima ili tranzistorima, kao i o tome na koji su način provedene automatska i ručna regulacija pojačanja.

Stabilnost

Stabilnost prijemnika je njegovo svojstvo da »drži signal« i onda ako se mijenja osjetljivost prijemnika, temperatura ili pogonski naponi, kao i onda ako je prijemnik izložen udarcima ili drmanju. Zahvaljujući su različiti i ovise o tome uz kakve uvjete prijemnik treba da radi.

Također kažemo da je prijemnik »nestabilan« ako neki njegovi stupnjevi pokazuju sklonost »divljem« i neželjenom osciliranju.

Ako se mijenja temperatura mijenjaju se električne vrijednosti pojedinih dijelova i, što je najgore, neke se od tih promjena zapažaju i onda kad se, nakon nekoliko zagrijavanja i ohlađivanja, prijemnik dovede u isto temperaturno stanje. Zbog toga je kod većine prijemnika teško kroz duže vrijeme održati tačnost baždarenja njegove skale. Bolji prijemnici imaju zbog toga ugrađen kristalni kalibrator. To je veoma stabilan kvarcov oscilator frekvencije 100 ili 1000 kHz pomoću kojega je moguće kontrolirati skalu, kad se god to pokaže potrebnim.

Mehanička stabilnost gradnje, to znači dobro učvršćeni dijelovi i krute međusobne veze, nužan je preduvjet za električnu stabilnost i upotrebljivost prijemnika. Zato lim iz kojega je načinjena šasijski prijemnika ne smije biti pretanak, a pogon skale i sve ostale »komande« prijemnika moraju biti bez mrtvog hoda.

Termička stabilnost prijemnika izražava se obično kao maksimalna promjena frekvencije u nekom određenom vremenskom intervalu. Pri tome se redovito navodi i to

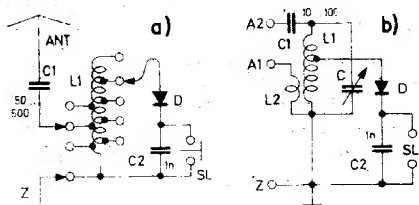
kako dugo mora prijemnik prije toga biti uključen (do pola sata kod cijevnih ili *najviše* do nekoliko minuta kod tranzistorskih prijemnika).

DETEKCIJA I DETEKTORI

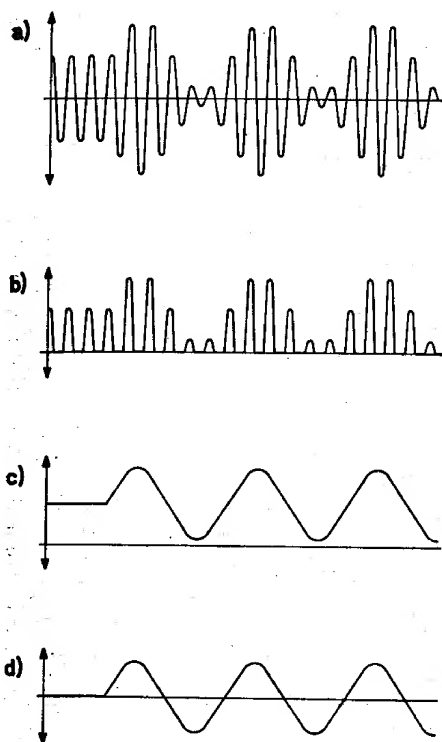
Pod imenom »detektor« poznati su različiti uređaji za otkrivanje prisutnosti nečega, što našim osjetilima obično ne možemo opažati, npr. detektori različitih radijacija. Ime dolazi iz latinskog jezika: *detector* = otkrivač.

U radiotehnici su tim imenom nazivani i oni najjednostavniji prijemnici srednjevalnih radiofonijskih emisija. U tim »detektorima« (sl. 9-4) nema »aktivnih« sastavnih dijelova koji bi pojačavali signal što ga je »uhvatila« antena. Nije potreban nikakav dodatni izvor pogonske energije jer im je funkcija »pasivna«. Oni se zadovoljavaju samo s onim, što mogu dobiti iz »etera« antenom.

Visokofrekventni radio-signal kakav stiže u prijemnik od neke ra-



Sl. 9-4. Najjednostavniji prijemnik je i danas tzv. detektorski prijemnik. a) prijemnik s odvojcima na zavojnici. Zavojnica ima npr. 8×15 zavoja, namotanih na promjeru od 5 do 6 cm; b) detektorski prijemnik sa promjenljivim kondenzatorom C. Zavojnica L_2 ima oko 15 zavoja, L_1 oko 60 zavoja s odvojkom kod 40 zavoja. — ANT, A_1 i A_2 su priključnice za antenu; Z je priključnica za zemljovod. SL su visoko-omske slušalice. D je germanijeva kristalna dioda



Sl. 9-5. Proces detekcije ili demodulacije amplitudno moduliranog (AM) visokofrekventnog signala: a) amplitudno modulirani signal; b) djelovanje detektorskog ispravljača; c) signal poslije demodulacije ima i istosmjernu komponentu; d) čisti niskofrekventni signal

diofonijske stanice može se prikazati kao visokofrekventno titranje kojemu se mijenja amplituda (sl. 9-5a). Za takav signal kažemo da je amplitudno moduliran. Promjene amplitude slijede u ritmu onih niskofrekventnih titraja koji se prenose. Takav se signal ne može odmah čuti. Potrebno je najprije izvršiti detekciju ili demodulaciju.

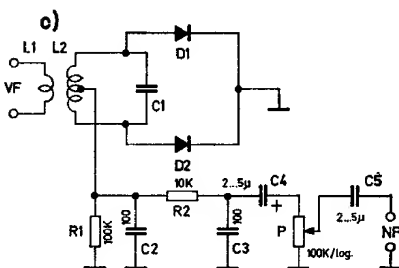
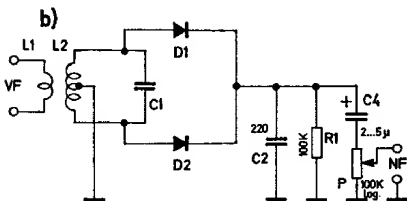
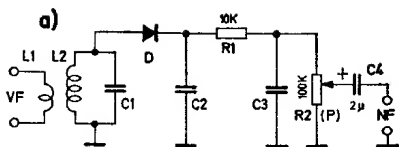
Za detekciju najčešće služe različiti ispravljači ili, ako se radi o drugim vrstama modulacije, posebni demodulatori.

Amplitudno modulirani signal nakon prolaska kroz demodulatorsku diodu možemo prikazati visokofrekventnim poluperiodama različite amplitude, kao na sl. 9-5b. Ovako ispravljeni signal sadrži i visokofrekventnu i niskofrekventnu komponentu. Njih treba razdvojiti tako da preostane samo niskofrekventna komponenta. Na sl. 9-5c vidimo izdvojenu niskofrekventnu komponentu. Tu je prisutna i neka istosmjerna komponenta koja je posljedica djelovanja diodnog ispravljača. Ispravljena električna struja pulzira u ritmu niske frekvencije kojom je bio moduliran primljeni signal. Ako takvu struju provedemo kroz neku slušalicu, njezina će membrana titrati onako, kako prikazuje sl. 9-5d. Želimo li veću glasnoću, moramo u posebno pojačalo, poslije detekcije, dovesti čist niskofrekventni signal, bez visokofrekventne i bez istosmjerne komponente (sl. 9-5d).

Diodni detektori

Najjednostavniji detektor ili demodulator za amplitudno modulirane signale (AM) je dioda. Detektor ove vrste s germanijevom kristalnom diodom je nacrtan na sl. 9-6a. Zavojnica L_1 induktivno je vezana sa zavojnicom L_2 titrajnog kruga L_2/C_1 . Preko zavojnice L_1 u titrajni krug tako dolaze najraznoličniji signali iz antene ili iz pristupnjeva prijemnika. Titrajni krug L_2/C_1 resonira na frekvenciju željenog signala. Kristalna dioda D služi kao ispravljač, pa će kroz nju teći ispravljena visokofrekventna struja. Kondenzator C_2 propušta visokofrekventnu komponentu mimo R_1 tako da kroz ovaj otpornik teče pulzirajuća ispravljena struja, kao što je prikazano na sl. 9-5c.

Ova struja teče dalje kroz R_2 . To je glavni »radni otpor« demodulatora. On može biti i potencijometar (P) koji služi za regulaciju glasnoće. Kondenzator C_3 odvodi ostat-



Sl. 9-6. Demodulatori za AM-sigale s diodama: a) s jednom kristalnom diodom; b) s dvije diode D_1 i D_2 ; c) s dvije diode, ali s drukčijim odvođenjem demoduliranog signala. Vidi tekst

ke visokofrekventnih struja. Kod NF možemo priključiti visokoomske slušalice ili neko niskofrekventno pojačalo.

Na sl. 9-6b i sl. 9-6c su primjeri diodnih detektora koji iskorištavaju oba smjera visokofrekventnih oscilacija. Ispravljene struje mogu se odvoditi ili sa strane gdje se nalaze diode (sl. 9-6b) ili sa sredine zavojnice L_2 . Otpornici R_1 predstavljaju radni otpor demodulatora, dok su kondenzatori C_2 i C_3 , kao i otpornik R_2 , iskorišteni kao filter za uklanjanje visokofrekventnih komponenata u ispravljenoj struji. Kondenzatori C_4 (i C_5) propuštaju samo

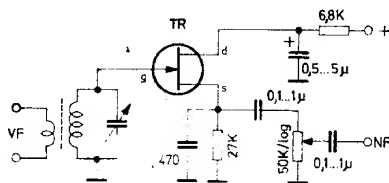
niskofrekventnu komponentu. Potenciometrom P reguliramo glasnoću reprodukcije.

Aktivni detektor s beskonačnom impedancijom

Za razliku od diodnih detektora, koji redovito ne trebaju nikakav izvor za napajanje električnom energijom pa se zato nazivaju »pasivnim«, ima i takvih detektora kojima je za normalan rad potreban dodatan izvor pogonske energije. Bilo je u radio-tehnici više takvih detektora. S nekim od njih ćemo se upoznati kasnije, kod različitih prijemnika, ali ovdje ćemo opisati samo jedan od njih.

To je detektor s beskonačnom impedancijom, sl. 9-7. Njegov je radni otpor smješten u strujni krug surs-elektrode FE-tranzistora TR. Na taj je način postignuta vrlo jaka negativna povratna veza. Zato nema naponskog pojačanja ali je osigurana vrlo čista reprodukcija. Kondenzator (470 pF), koji premošćuje radni otpornik (27 kΩ), odvodi visokofrekventne komponente. Za njih on predstavlja kratak spoj. Niskofrekventne struje odlaze preko drugog kondenzatora (0,1...1 μF) na potenciometar za regulaciju glasnoće.

Naponi na surs-elektrodi vjerno slijede sve amplitudne promjene visokofrekventnih struja u titrajnom krugu koji je spojen na dejt-elektrodu FET-a. Pri tome kroz TR ne može poteći VF struja i titrajni



Sl. 9-7. Detektor s beskonačnom impedancijom ne opterećuje titrajni krug na koji je priključen

krug pritom ne gubi energiju. Detektor se ponaša kao da ima beskonačnu impedanciju.

Svaki diodni detektor troši energiju iz titrajnog kruga s kojim je u vezi pa ga više ili manje prigušuje, smanjujući selektivnost jer resonancija postaje »pliča«. Detektor s beskonačnom impedancijom ne prigušuje titrajni krug. Zato je resonancija titrajnog kruga »oštrija« i selektivnost veća!

Audionski i autodinski detektori

Audion je jedan od najosjetljivijih detektora, sposoban za demodulaciju vrlo slabih signala.

Audionski detektori su nekad bili najvažnija vrsta demodulatora upravo zato, jer je pomoću audiona bilo moguće graditi vrlo osjetljive prijemnike s malim brojem elektronskih cijevi. Nekadašnji prijemnici tipa O-V-1 ili O-V-2, kod kojih je iza audiona bilo niskofrekventno pojačalo s jednim ili s dva stupnja niskofrekventnog pojačanja, omogućili su radio-amaterima još prije šezdesetak godina da postavljaju prave rekorde održavajući veze sa svim kontinentima.

Audionski prijemnici sa elektronskim cijevima danas su muzejski eksponati, ali tranzistorskih audiona još se može naći, osobito u jednostavnijim amaterskim gradnjama.

Shemu jednog takvog tranzistorskog audiona vidimo na sl. 9-8. Zavojnica L_1 služi za vezu s antenom. Ona je induktivno vezana sa L_2 , u titrajnom krugu koji možemo ugađati promjenljivim kondenzatorom i tako »birati« radio-stanice koje slušamo.

Baza tranzistora je preko odvojka spojena samo na manji dio zavojnice L_2 u titrajnom krugu. Povratnu vezu reguliramo ovdje potencijetrom od 10 k Ω u kolektorskom strujnom krugu. Povratna

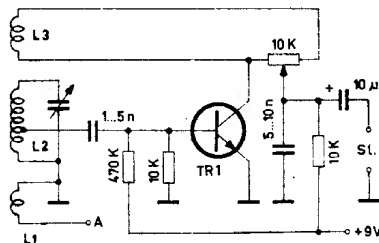
veza povećava osjetljivost detektora, ali također efektivni Q-faktor titrajnog kruga, pa i selektivnost postaje znatno bolja.

Audionski demodulatori zahtijevaju vrlo pažljivo namještanje optimalnog iznosa povratne veze, ne podnose jake signale, pa je reprodukcija često prilično iskrivljena. Zbog tih nedostataka je upotreba audiona danas ograničena samo na najjednostavnije amaterske prijemnike, a i ovdje pretežno na prijem telegrafije (CW).

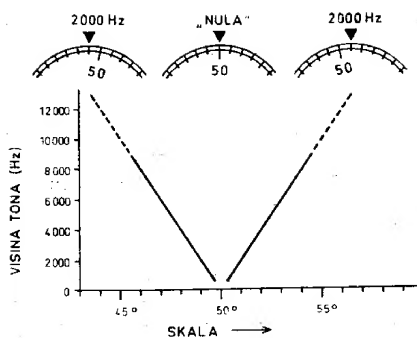
Kod audionskog prijemnika mora povratna veza biti redovito tako velika da oscilacije još ne mogu biti pobuđene. Tada je prijem AM-signala najbolji, osjetljivost je najveća, kao i selektivnost.

Za prijem telegrafskih znakova mora povratna veza biti jače »priregnuta«, toliko da audion i sam počne oscilirati. Tako on postaje *autodinski demodulator* za telegrafiju. Sam on proizvodi pomoćne oscilacije koje su potrebne.

Ako audion oscilira i ako njegovu frekvenciju postepeno mijenjamo okrećući polagano skalu koja je u vezi s kondenzatorom audionovog titrajnog kruga, čut ćemo — ako »dođemo« u blizinu nekog signala — najprije vrlo visok ton. Njegova će frekvencija biti, recimo, oko 8000 Hz. Daljnjim mijenjanjem frekvencije postaje taj ton sve niži



Sl. 9-8. Tranzistorski »audion« s povratnom vezom



Sl. 9-9. Mijenjanje visine tona interferencije pri vrtnji skale promjenljivog kondenzatora audiona koji oscilira

(sl. 9-9). Sasvim duboki ton se uopće ne čuje, jer signal »povuče« audion. Njegovi su titraji sinhronizirani s titrajima signala koji primamo. Vrteći dalje skalu opet ćemo čuti ton koji je najprije dublji, a onda mu visina raste sve dok postane tako visok da ga više ne čujemo. Ljudsko je uho najosjetljivije na zvukove kojima je frekvencija oko 2000 Hz, pa ćemo za prijem najslabijih, jedva čujnih telegrafskih signala prijemnik redovito namjestiti tako da se čuje baš takva visina tona. Ako su signali nešto jači, telegrafist obično namješta visinu tona od 800 do 1200 Hz. Stanje u kojemu se ne čuje nikakav ton, tj. kad su frekvencije signala i samog audiona jednake, naziva se »nula« (engl.: »zero beat«).

Heterodinski i produkt-detektori

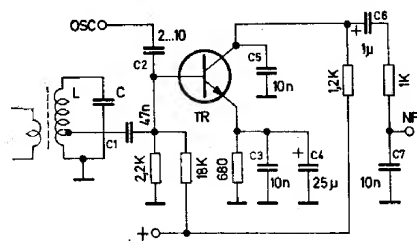
Svaki od opisanih detektora može postati heterodinski detektor ako mu dovedemo i signal iz pomoćnog lokalnog oscilatora (BFO). Takav se signal obično dovodi preko kondenzatora s malim kapacitetom. Amplituda pomoćnih oscilacija mora biti barem pet do dvadeset puta veća od amplitude najjačeg

signala koji želimo primiti. Samo na taj način izobličenje signala ostaje maleno. Tako se redovito primaju telegrafski signali, koji interferirajući sa oscilacijama pomoćnog signala daju »ton« koji je jednak razlici tih dvaju frekvencija. I SSB signali se demoduliraju pomoću heterodinskih detektora.

Produkt-detektori su novija vrsta heterodinskih demodulatora. Oni osiguravaju vrlo dobru i čistu demodulaciju telegrafskih (CW) i SSB signala (vidi i kasnije u poglavlju o SSB uređajima).

Produkt-detektor s bipolarnim tranzistorom može se načiniti prema sl. 9-10. Na bazu tranzistora TR dovodi se istovremeno primani signal iz titrajnog kruga LC (preko C_1) i oscilatorov napon (preko C_2). U tranzistoru se oni miješaju i proizvode nisku frekvenciju koja je jednaka razlici između frekvencije primanog signala i frekvencije oscilatora. Da se tako nastali »zvuk« u istom tranzistoru pojača, emitterski otpornik nije premošten samo za visoke frekvencije (10 nF), već također za niske frekvencije (25 μ F). Da se u kolektorskom strujnom krugu dobije samo niska frekvencija, sve visoke frekvencije se uklanjaju filterom koji je ovdje sastavljen od dvaju kondenzatora (C_6 i C_7) i jednog otpornika (1 k Ω). Kolektorski radni otpor ima 1,2 k Ω . Kondenzator C_6 nesmetano propušta niske frekvencije na izlaz NF.

Razumije se da je takav heterodinski demodulator moguće graditi



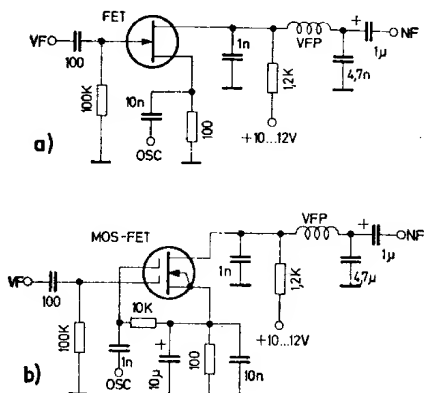
Sl. 9-10. Heterodinski detektor (produkt-detektor) sa bipolarnim tranzistorom

i sa unipolarnim tranzistorima. Na sl. 9-11a je to postignuto tranzistorom tipa JFET. VF-signal se dovodi na gejt-elektrodu, dok se oscilator (OSC) priključuje, preko kondenzatora (!), na surs-elektrodu. Do niskofrekventnog izlaza NF stižu samo demodulirani signali jer su sve visoke frekvencije odstranjene filtracijom pomoću prigušnice (VFP) i kondenzatora (1 nF i 4,7 nF).

Donekle je sličan produkt-detektor kojemu je shema prikazana na sl. 9-11b. Kao aktivni element služi MOS-FET. On je ovdje spojen na način stupnja za miješanje. Na prvu gejt-elektrodu dovodi se VF signal, dok je druga gejt-elektroda u vezi sa oscilatorom (OSC). Niskofrekventni, demodulirani signal je filtriran na jednak način kao u prijašnjem primjeru.

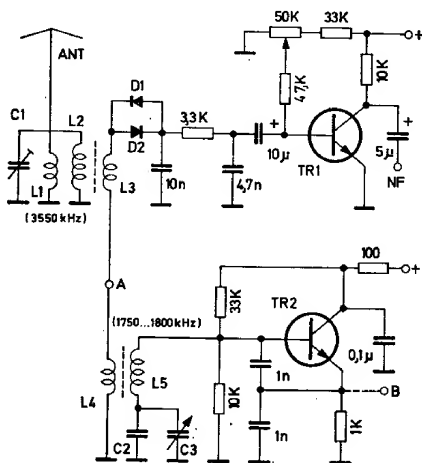
Svi produkt-detektori zapravo su identični — u principu — sa stupnjevima za miješanje, s kojima ćemo se još kasnije upoznati. Zato i ovdje ima sličnih problema. Jedan od njih je »povlačenje« oscilatora. Ako ulazni signal i oscilatorov napon dolaze na istu elektrodu, onda titrajni krugovi mogu djelovati jedan na drugi. Da se to ne bi događalo može se produkt-detektor spojiti sa oscilatorom kojemu je frekvencija jednaka polovini one frekvencije koja pripada primanom signalu.

Takav je heterodinski demodulator (produkt-detektor) koji je konstruirao RA3AAE. Kod nas ga je popularizirao YU2HL. Princip je dat na sl. 9-12. Vrlo je pogodan za primjenike s direktnom konverzijom. L_1 je antenska zavojnica. L_2 i C_1 pripadaju ulaznom titrajnom krugu. Preko L_3 dolazi ulazni signal (npr. 3550 kHz) na dvije kristalne diode, D_1 i D_2 , koje su »antiparalelno« spojene i koje služe kao produkt-detektor. Iza njih je spojen tranzistor TR_1 . On služi samo kao niskofrekventno pojačalo kojemu se potencijetrom od 50 k Ω , »jednom za uvijek« namjesti najpovoljniji prednapon.



Sl. 9-11. Produkt-detektori: a) sa FET-om; b) sa MOSFET-om

Tranzistor TR_2 je u oscilatoru tipa Clapp. Ovaj oscilira u opsegu od 1750...1800 kHz, što je polovina frekvencija koje obuhvata telegrafski dio 80-metarskog amaterskog kratkovalnog opsega (3500...3600 kHz). Kad kondenzatorom C_3 dovedemo njegovu frekvenciju



Sl. 9-12. Produkt-detektor V. Poljaka (RA3AAE) kod kojega heterodinski oscilator ima polovicu frekvencije u odnosu na signal koji se želi primati. Vidi tekst

blizu 1775 kHz, moći ćemo demodulirati telegrafiju na frekvenciji 3550 kHz.

UGAĐANJE PRIJEMNIKA I PROMJENA VALNOG PODRUČJA

Ugađanje

Frekvenciju na koju resonira neki titrajni krug možemo mijenjati na dva načina, ili promjenom induktiviteta zavojnice ili promjenom kapaciteta kondenzatora. Samo malen broj prijemnika ima za odabiranje stanica i ugađanje na određenu frekvenciju dugmad kojom se može mijenjati induktivitet titrajnih krugova. U tu svrhu najčešće se mijenjaju kapaciteti pomoću promjenljivih kondenzatora.

Brzina kojom se mijenja frekvencija titrajnih krugova ne smije biti prevelika. Ako jednim okretajem dugmeta frekvenciju promjenimo, npr. za 500 kHz, onda je to sasvim dobro za prijem radiofonijskih stanica u srednjevalnom području. Za ugađanje prijemnika na kratkim valovima je to pregrubo. Promjena frekvencije ne bi smjela biti veća od 100 kHz za jedan okretaj dugmeta. Želimo li primati SSB signale, ta promjena mora biti manja, oko 25 kHz ili, još bolje, oko 5 kHz za svaki puni okretaj dugmeta za ugađanje. Mehanički prenos okretanja od dugmeta do promjenljivog kondenzatora mora, razumije se, biti bez »skokova« i bez »mrtvog hoda«; mora »ići« lako, bez zapinjanja, i mora ostati na miru u onom položaju u koji ga stavimo.

Promjena valnog područja

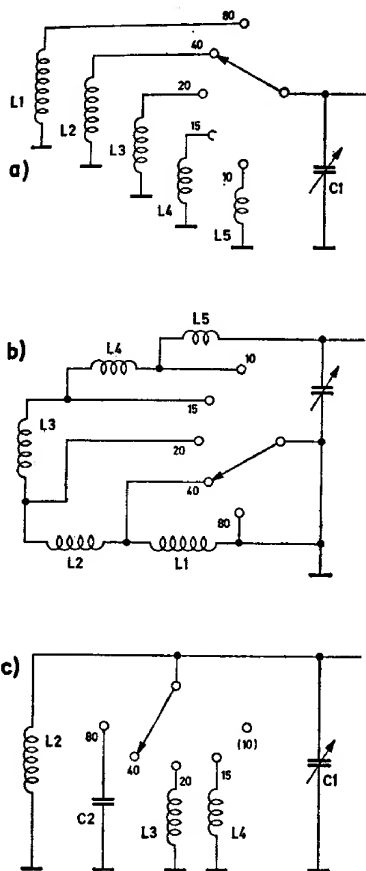
Titrajnim krugom koji se sastoji od neke zavojnice i određenog promjenljivog kondenzatora ne možemo obuhvatiti po volji široko valno područje. Ako bismo htjeli odjednom obuhvatiti sve frekven-

cije, npr. između 3 i 15 MHz gdje se nalaze 80-, 40- i 20-metarsko amatersko kratkovalno područje, morali bismo u titrajnom krugu raspolagati s takvim odnosom između maksimalnog i minimalnog kapaciteta kakav redovito ne možemo postići. Ako bi to samim promjenljivim kondenzatorom i bilo moguće postići, onda bi se taj odnos u prijemniku zbog različitih dodatnih kapaciteta (vlastiti kapacitet zavojnice, kapacitet vodova, kapaciteti u unutrašnjosti tranzistora ili elektronskih cijevi i slično) znatno izmijenio. Želimo li nekim prijemnikom obuhvatiti neko vrlo široko područje frekvencija, moramo ga, prema tome, razdijeliti u više užih. Pri tome promjenljivi kondenzator obično ostaje isti, a mijenjaju se zavojnice.

Ima više načina na koji se jedna zavojnica može zamijeniti drugom, druga trećom i tako redom. Zavojnice mogu biti, npr. postavljene na bubanj koji možemo okretati. Krajevi zavojnica spojeni su tada na kontaktna pera preko kojih se one uključuju u određene titrajne krugove. Takav bubanj ima toliko položaja, koliko je zavojnica u njemu.

Najrašireniji je način promjene valnog područja pomoću specijalnih preklopnika s potrebnim brojem kontakata i položaja (sl. 9-13). Okretanjem preklopnika uključujemo neke zavojnice, a druge isključujemo. Najbolji su takvi preklopnici koji kratko spajaju sve isključene zavojnice onemogućujući na taj način utjecaje jednih na druge njihovim vlastitim resonancijama.

Ako su zavojnice namotane na valjke koji su učvršćeni na neke utikače ili na nožišta starih, pregorelih elektronskih cijevi, možemo ih utaknuti u odgovarajuća područja i vrlo lako jednu zavojnicu zamijeniti drugom. Ovaj je način osobito pogodan onda, kad u prijemniku ima malo mjesta za zavojnice, a također ako želimo eksperimentirati ili ostvariti osobito velik broj valnih područja. Velik broj



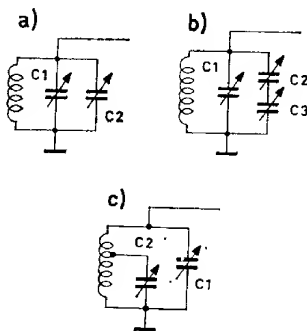
Sl. 9-13. Tri načina mijenjanja opsega prijemnih frekvencija: a) odabi-
ranjem zavojnica pomoću preklop-
nika; b) kratkim spajanjem većeg
ili manjeg broja zavoja; c) paralel-
nim spajanjem kondenzatora i za-
vojnica. L_2 rezonira sa C_1 u 40-me-
tarskom opsegu. Dodavanjem ka-
paciteta C_2 postiže se resonancija
u 80-metarskom opsegu. Ako se pa-
ralelno sa zavojnicom L_2 spoji L_3
ili L_4 , postižu se resonancije u 20-
metarskom ili u 15-metarskom
amaterskom opsegu. Za 10-metarski
opseg to nije više tako lako postići

amatera tako mijenja zavojnice u
prijemnicima koje su sami sa-
gradili.

Razvlačenje uskih valnih područja

Kratkovalno područje na skala-
ma običnih radioaparata redovito
obuhvaća frekvencije od 6 do 18
MHz. U tome području leže dva
amaterska opsega, četrdesetmetar-
ski (7 do 7,1 MHz) i dvadesetme-
tarski (14 do 14,35 MHz). Svaki od
njih zauzima upravo neznatan dio
skale, pa se takvi prijemnici ne
mogu upotrebiti za njihov prijem.
Za potrebe telekomunikacija, pa i
za održavanje amaterskih radio-
veza, potrebni su prijemnici koji
imaju neke mogućnosti za finije
ugađanje.

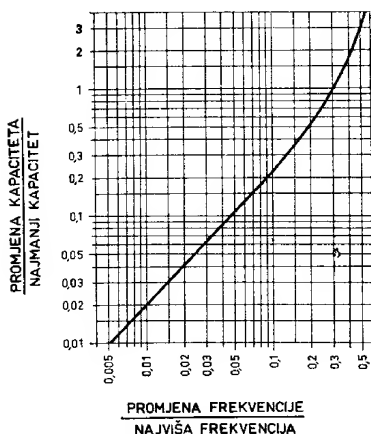
Prijemnici koji su namijenjeni
za opće telekomunikacijske potrebe
imaju specijalne pogone s vrlo veli-
kim prenosom između dugmeta za
izbor stanica i promjenljivog kon-
denzatora (1:25 do 1:100 i više).
To je *mehaničko razvlačenje* valnog
područja. Ako nismo zainteresirani
za prijem širokih područja, već želi-
mo dobar prijem signala amater-
skih radio-stanica koje rade na frek-
vencijama unutar određenih užih
opsega, bolje je da raspoložemo sa
električnim razvlačenjem pomoću
kojega se neki uži opseg može pro-
širiti preko čitave skale. Ovom se
metodom služimo i kod specijalnih
amaterskih prijemnika. Na sl. 9-14
je prikazano nekoliko načina koji-
ma se ovo može postići.



Sl. 9-14. Tri osnovna načina za
»razvlačenje« užih kratkovalnih po-
dručja. Objašnjenja u tekstu

U primjeru na sl. 9-14a su paralelno sa zavojnicom spojena dva promjenljiva kondenzatora. Jedan od njih ima malen ($C_2=10$ do 30pF), a drugi ima veći maksimalni kapacitet ($C_1=75$ do 150 pF). Kondenzator C_1 služi za dovođenje resonantne frekvencije titrainog kruga do višefrekventnog kraja željenog opsega koji onda kondenzatorom C_2 razvučemo sve do nižefrekventnog kraja, uzduž što većeg dijela skale prijemnika. Želimo li, npr., preko cijele skale razvući amatersko 80-metarsko područje, treba nastojati da se skalom koja okreće kondenzator C_2 obuhvati nešto više. To područje leži između 3500 i 4000 kHz, a obuhvatiti treba, recimo, od 3450 do 4050 kHz. Tako ćemo sigurno moći slušati sve, pa i prekooceanske amatere. Apsolutna razlika tih dviju frekvencija je 600 kHz. Da dobijemo *relativnu razliku frekvencija* moramo načiniti omjer:

$$\frac{\text{promjena frekvencije}}{\text{najviša frekvencija}} = \frac{600 \text{ kHz}}{4050 \text{ kHz}} = 0,148$$



Sl. 9-15. Dijagram za određivanje kapaciteta kojim se postiže razvlačenje kratkovalnih opsega

Kakvi treba da budu kapaciteti C_1 i C_2 u ovom slučaju? — Da to odredimo, poslužimo se dijagramom na sl. 9-15. Oдавде čitamo da za izračunatu relativnu razliku frekvencija (0,148) *odnos kapaciteta* mora biti 0,38.

Ako se kondenzatoru C_2 kapacitet mijenja od 5 do 30 pF (tj. ukupno za 25 pF), možemo potrebnu vrijednost paralelnog kapaciteta C_1 izračunati:

$$C_1 = 25 : 0,38 = 66 \text{ pF}$$

U ovih 66 pF uračunata je i vrijednost početnog kapaciteta kondenzatora C_2 (5 pF), kao i kapacitet priključenog tranzistora (ili elektronske cijevi) te kapacitet vodova. Ima li kondenzator C_1 maksimalni kapacitet od 100 pF, bit će potrebno da su njegove rotorske ploče do polovice uvučene među ploče statora.

Na takav način možemo izračunati i za bilo koji drugi opseg frekvencija potrebne vrijednosti kapaciteta. Zavojnica mora biti takva, da se s tim kapacitetima zaista postignu potrebne frekvencije.

Na sl. 9-14b umjesto C_2 služe dva promjenljiva kondenzatora, spojena u seriju, C_2 i C_3 . Uloga kondenzatora C_1 je ista kao i u predašnjem primjeru. O njegovom kapacitetu ovisi koju ćemo najvišu frekvenciju doseći na jednom, a o seriji C_2/C_3 do koje ćemo najniže frekvencije doći na drugom kraju skale. Sama skala je u vezi s kondenzatorom C_3 , dok se sa C_2 može po volji odabrati koliko će neki opseg frekvencija biti razvučen. Kondenzator C_2 može biti odabrani fiksni, trimerski polupromjenljivi ili promjenljivi kondenzator, prema želji i potrebi.

Treći način je prikazan na sl. 9-14c. Kondenzator C_1 opet služi istoj svrsi. Kondenzator za razvlačenje C_2 ima ovdje veći kapacitet (50 do 100 pF) a treba ga priključiti na odvojak zavojnice. Razvlačenje određenog opsega frekvencija je veće, ako je odvojak bliže uzemljenom, »hladnom« kraju zavojnice, i obrnuto. Budući da kod ovakvih titrajnih

krugova može s istom zavojnicom doći do resonancije na dvije različite frekvencije, treba biti kod primjene ovakvog načina razvlačenja vrlo oprezan. Postoji, naime, opasnost da u opseg koji želimo primati »upadnu« i neželjeni signali!

Upotreba višestrukih promjenljivih kondenzatora

Ako pomoću nekoliko titrajnih krugova želimo obuhvatiti ista valna područja, onda se obično služimo višestrukim promjenljivim kondenzatorima. Okretanjem zajedničke osovine mijenjaju se kapaciteti većeg broja promjenljivih kondenzatora (dva do najviše četiri!). Ovo pojednostavljuje posluživanje prijemnika, ali donosi posebne probleme pri konstrukciji. Budući da svaki pojedini kondenzator pripada svom titrajnom krugu, treba posebno paziti na to da ne dođe do nekontroliranih i štetnih međusobnih utjecaja. Osim toga treba postići da svi titrajni krugovi u svakom položaju kondenzatora resoniraju na istu frekvenciju. Kažemo, da se među titrajnim krugovima mora postići *skladan »hod«*. To se može postići, ako su u svim takvim titrajnim krugovima induktiviteti zavojnica međusobno jednaki, odnos početnih i maksimalnih kapaciteta isti, a način mijenjanja kapaciteta potpuno jednak.

Način na koji se kod vrtnje mijenja kapacitet određen je samom konstrukcijom promenljivog kondenzatora i oblikom njegovih ploča. Međusobne razlike kapaciteta pojedinih kondenzatora koji su povezani istom osovinom kod dobrih fabrikata iznose najviše ± 2 do $\pm 3\%$, što se smatra dovoljnim.

Početne kapacitete u titrajnim krugovima redovito izjednačujemo tzv. *trimerima*, specijalnim polupromjenljivim kondenzatorima. Pomoću trimera treba postići da svi titrajni krugovi na višefrekventnom kraju valnog područja uz »otvoreni«

kondenzator resoniraju na istu frekvenciju.

Induktivitete zavojnica dovodimo na »pravu« vrijednost obično pomoću posebnih *jezgrica* koje se mogu više ili manje uvući u zavojnicu. Takvih jezgrica ima dvije vrste. Jedne tzv. »visokofrekventne«, one koje najčešće upotrebljavamo, su iz posebnih feromagnetickih materijala, načinjenih od fine prašine reduciranog željeza ili željeznog oksida. Sve jezgrice ove vrste *povećavaju* induktivitet zavojnice to više, što ih stavimo dublje u zavojnicu. Ako je »visokofrekventni« material feromagnetičke jezgrice odabramo upravo za određeno valno područje, onda jezgrica povećava i *Q-faktor*. Visokofrekventnih željeznih jezgrica za ovu svrhu ima gotovo za sva područja, sve do 100 ili čak do 200 MHz. Za tako visoke i više frekvencije služe i jezgrice koje su načinjene iz mjeđi (mesinga). Takva se *metalna* jezgrica ponaša kao kratko spojeni zavoj, pa smanjuje induktivitet zavojnice u kojoj se nalazi. Induktivitet je to manji što je jezgrica dublje u zavojnici. Pri tome se *Q-faktor* zavojnice bitno ne mijenja, ako je površina jezgrice glatka ili, još bolje, ako je posrebrena.

Pomoću jezgrica treba induktivitet zavojnica, koje su priključene na višestruki kondenzator, ugoditi tako da svi titrajni krugovi na svom nižefrekventnom kraju (uz »zatvoreni« kondenzator) resoniraju na istu frekvenciju.

Kod ugađanja titrajnih krugova treba po nekoliko puta popraviti kapacitet trimera (kod viših) i položaj jezgrica u zavojnicama (kod nižih frekvencija) dok se postigne potreban sklad i složno mijenjanje frekvencije u svim titrajnim krugovima.

Višestruki promjenljivi kondenzatori redovito služe u prijemnicima fabričke proizvodnje, ali ih srećemo i u amaterskim gradnjama. Ima ih sa većim i sa manjim vrijednostima kapaciteta. U radiofonijским prijemnicima najčešći su dvo-

struki promjenljivi kondenzatori maksimalnog kapaciteta od 2×350 pF do 2×500 pF. Za kratkovalne prijemnike bolji su višestruki kondenzatori koji imaju manje vrijednosti maksimalnog kapaciteta, npr. do 100 pF ili do 150 pF po sekciji.

U novije vrijeme, umjesto promjenljivih kondenzatora, sve više susrećemo tzv. varikap-diode. Kako znamo, njihov kapacitet zavisi o visini *zapornog* napona na njima. Može ih se upotrebiti i u više titrajnih krugova koje treba zajedno ugađati. Tada se napon mijenja samo jednim potenciometrom. Ukoliko su sve varikap-diode istoga tipa, kapaciteti će se u svim titrajnim krugovima mijenjati na isti način. Primjera za upotrebu varikap-dioda bit će više u ovoj knjizi.

VISOKOFREKVENTNA POJAČALA

Visokofrekventno pojačalo se rijetko može naći u običnim radio-aparatima. U dobrim komunikacijskim prijemnicima ih ima iz više razloga. Pomoću visokofrekventnog pojačala postiže se veća osjetljivost prijemnika, bolja ulazna selektivnost i manja opasnost prodora zračnih i drugih neželjenih signala. I odnos signal/šum često postaje bolji uz visokofrekventno pojačalo.

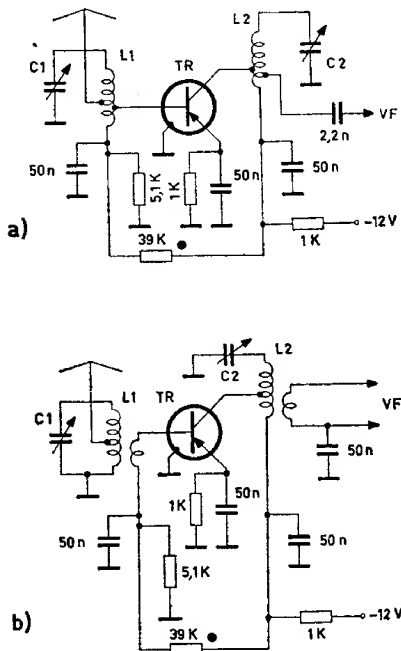
Stariji komunikacijski prijemnici imaju jedan do dva, ponekad i tri visokofrekventna stupnja na ulazu prijemnika, osobito ako je međufrekvencija razmjerno niska. Kod visokih međufrekvencija je obično dovoljan jedan stupanj visokofrekventnog pojačanja.

Moderni prijemnici, u kojima su stupnjevi za miješanje daleko malošumniji od nekadašnjih, ako imaju visokofrekventno pojačalo na svome ulazu, imaju ga pretežno zbog povećanja ulazne selektivnosti.

Elektronske cijevi se u visokofrekventnim pojačalima, za potrebe prijema, ne mogu više naći. Postoje, naime, takvi tranzistori koji potpuno zadovoljavaju i kod prijema

najviših frekvencija. Izuzetak su samo visokofrekventna pojačala snage u predajnicima, ali o tome u kasnijem poglavlju.

Dva tipična tranzistorska visokofrekventna pojačala s tranzistorima tipa *P-N-P* vidimo na sl. 9-16. Ima mnogo takvih tranzistora od kojih ni na kratkovalnim područjima nije potrebna neutralizacija, npr. BF 272. Ulazni titrajni krugovi L_1/C_1 i izlazni L_2/C_2 ugrađaju se na frekvenciju primanog signala. Jedina je razlika među pojačalima a) i b) u načinu na koji je priključena baza tranzistora, kao i slijedeći stupanj. U prvom primjeru (a) to se postiže odvojcima na obje zavojnice, a u drugom primjeru (b) pomoću induktivne veze za koju služe posebne zavojnice s malim brojem zavoja.



Sl. 9-16. Principijelni prikaz visokofrekventnih pojačala s tranzistorima: a) sa odvojcima na zavojnicama titrajnih krugova; b) sa induktivnom vezom na tranzistor

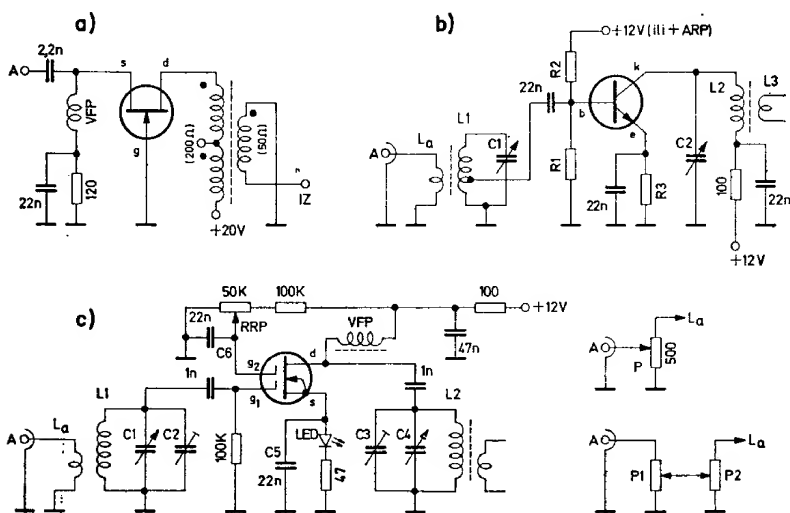
Ista pojačala mogu se načiniti i pomoću tranzistora tipa N-P-N, ali tada treba *promijeniti polaritet izvora pogonskog napona*.

Danas ima specijalnih silicijevih N-P-N tranzistora (BF 167, BF 173, BF 267, BF 273) koji su građeni tako da im je unutrašnji kapacitet između kolektora i baze na osobit način (unutrašnjom neutralizacijom) u velikoj mjeri smanjen. Oni rade veoma stabilno ako im je emiter uzemljen, kao što je nacrtano i na sl. 9-17b.

Na sl. 9-17 nacrtane su i dvije sheme visokofrekventnih pojačala sa unipolarnim tranzistorima. Tako je na sl. 9-17a VF-pojačalo s tranzistorom JFET kojemu je gejt-elektroda uzemljena. Ovo je tzv. širokopojasno VF-pojačalo. Titrajnih krugova nema. Antena se spaja kod A. Na izlazu pojačala je širokopojasni visokofrekventni transformator sa izlaznom impedancijom od 50 Ω . Takvo se VF-pojačalo može staviti ispred bilo kojeg kratkovalnog prijemnika za povećanje osjetljivosti,

osobito ako je potrebno služiti se nekom malom, improviziranom antenom.

Visokofrekventno pojačalo sa MOS-FET-om, sl. 9-17c, ima svoj ulazni i izlazni titrajni krug koji se ugađaju na frekvenciju odabranog kratkovalnog (ili bilo kojeg drugog) opsega frekvencija. Neobično je to da se u strujnom krugu surs-elektrode nalazi svijetleća dioda LED. Ona, dakako, nije ovdje zbog svjetljenja! Na njoj je pad napona oko 2 V. On ostaje gotovo nepromijenjen i onda ako se mijenja jakost struje, kao npr. kod ručne regulacije pojačanja (RRP) promjenom prednapona za drugi gejt (g_2) potencijometrom (50 k Ω). Ako ove diode nema, potencijetrom se prednapon druge gejt-elektrode može smanjiti samo na »nulux«. Ukoliko je uključena dioda LED, ona će surs MOSFET-a zadržati na višem potencijalu što omogućuje da φ_2 u odnosu na surs-elektrodu može biti negativan. Na taj se način postiže »energičnija« regulacija pojačanja,



Sl. 9-17. a) aperiodičko visokofrekventno pojačalo sa FET-om kojemu je uzemljena gejt-elektroda; b) VF pojačalo s tranzistorom (BF 167) koji ima mogućnost automatske regulacije pojačanja (ARP); VF pojačalo sa MOSFET-om

čak do -30 dB. Bez te diode regulacija dosiže samo oko -25 dB.

Za današnju radio-tehniku je karakteristično upravo ovo nastojanje da se *smanjuje* pojačanje u VF stupnjevima. Čak se i sa -30 dB nije moguće zadovoljiti! U današnje vrijeme je »eter« toliko »opterećen« jakim signalima najraznoličnijih frekvencija da su i prijemnici često u situaciji da ih ne mogu podnijeti. Utrka u povećavanju snage predajnika dovodi radio-veze u velike poteškoće. Zato se ispred visokofrekventnog pojačala, koje već i samo osigurava velike mogućnosti smanjenja osjetljivosti (!), redovito mora predvidjeti i dodatno prigušivanje ulaznih signala posebnim »atenuatorima«. Dva najjednostavnija takva attenuatora su na sl. 9-17, desno dolje. Jednostavan potencijometar od nekih $500\ \Omega$ već može u kritičnoj situaciji biti od velike pomoći. Još bolja atenuacija postiže se upotrebom dvostrukog potencijometra (P_1 i P_2), spojenog između antene i ulazne (antenske) zavojnice L_a .

Neki drugi načini za regulaciju (tj. za smanjivanje!) osjetljivosti prijemnika bit će opisani kasnije, pod naslovom »Automatska regulacija pojačanja« (ARP).

STUPANJ ZA MIJEŠANJE U SUPERIMA

Najkarakterističniji stupanj superheterodinskog prijemnika ili supera je stupanj za miješanje, poznat i pod udomaćenim internacionalnim nazivima »mikser« i »konvertor«. *Mikser* je takav stupanj za miješanje koji ne može funkcionirati samostalno. Potreban je još i oscilatorski stupanj. Pod nazivom *konvertor* misli se na takav stupanj za miješanje koji sadrži i oscilator. U komunikacijskim prijemnicima češći su mikseri, a u običnim radio-aparatima za prijem radiofonije (u »koncertašima«) konvertorski stupnjevi.

Miješanje sa elektronskim cijevima

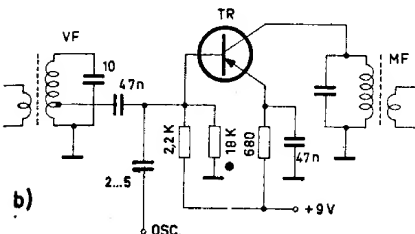
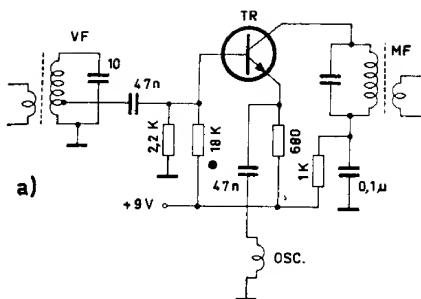
Elektronske cijevi svih vrsta mogu poslužiti i u stupnjevima za miješanje, osobito one koje su bile konstruirane baš za ovu primjenu. Glavni nedostatak svih stupnjeva za miješanje sa elektronskim cijevima je u tome da je *šum*, koji se pri miješanju stvara u samoj cijevi, prevelik. Savremeni tranzistori i integrirani sklopovi imaju manji šum. Osobito malen šum je u stupnjevima za miješanje u kojima su upotrebljene specijalne kristalne diode. Tako su i u ovim stupnjevima prijemnika istisnute elektronske cijevi. Njih, za miješanje i transpoziciju frekvencije signala, još možemo naći samo u nekim predajnicima, o čemu će još biti govora.

Koga interesiraju elektronske cijevi može potrebne podatke naći u ranijim izdanjima ovog priručnika ili u drugoj literaturi.

Tranzistori u stupnjevima za miješanje

Svaki visokofrekventni tranzistor može poslužiti i za miješanje. Za primjer na sl. 9-18a može, na svim kratkovalnim područjima, kao mješač raditi i tranzistor BC 107, koji je za ovu svrhu sasvim dovoljno »visokofrekventan«. Na svakoj od njegovih elektroda su titrajni krugovi različitih frekvencija: na bazi je ulazni, na emiteru oscilatorski, a na kolektoru međufrekventni titrajni krug. Zato nema bojazni da bi oni — preko tranzistorovih, razmjerno većih, unutrašnjih kapaciteta — mogli nepovoljno djelovati jedan na drugi.

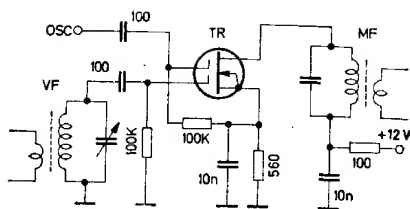
Na sl. 9-18b je stupanj za miješanje s tranzistorom tipa P-N-P. Glavna je razlika u tome da se tu oscilatorova »injeckcija« dovodi na istu elektrodu (bazu) na koju dolazi i primani signal, dok je u predašnjem primjeru svaki od ovih »signala« dolazio na odijeljene elek-



Sl. 9-18. Tranzistorski stupnjevi za miješanje

trode: ulaz na bazu, oscilator na emiter.

Unipolarni tranzistori tipa JFET mogu također vrlo dobro raditi u stupnjevima za miješanje. Dva primjera su na sl. 9-19. Sklop na sl. 9-19a odgovara onome na sl. 9-18a. Pažljivi čitalac će lako opaziti sve tipične razlike. Mikser na sl. 9-19b zanimljiv je stoga jer su upotreb-

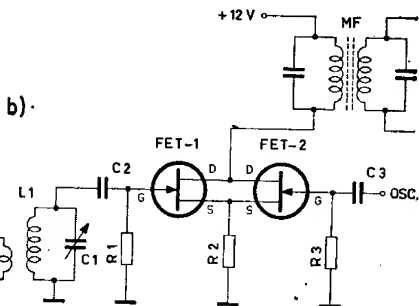
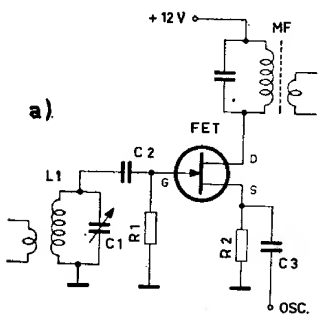


Sl. 9-20. Mikser sa MOSFET-om

ljena dva FET-a. Oni su spojeni tako da ulaz primanog signala i ulaz oscilatorove injekcije budu, koliko je više moguće, odijeljeni jedan od drugoga, čime je »povlačenje« oscilatora reducirano na najmanju moguću mjeru.

Najveća prednost primjene FE-tranzistora u stupnjevima za miješanje jest, ako ih uporedimo sa običnim tranzistorima, u boljoj podnošljivosti za jače signale i, s tim u vezi, u mnogo manjoj opasnosti pojave unakrsne modulacije. Sum u takvim stupnjevima s FE-tranzistorima je manji nego kod elektronskih cijevi za miješanje.

Primjenu MOSFET tranzistora vidimo na sl. 9-20. I ovdje ulazna i oscilatorova frekvencija dolaze na odijeljene gejt-elektrode, ali obje u istom tranzistoru. U praktičnoj primjeni nema bitne razlike između sheme na sl. 9-19b i ove na sl. 9-20. Ipak se danas radije odlučuju za ovu drugu.



Sl. 9-19. Stupnjevi za miješanje s FE-tranzistorima: a) s jednim i b) s dva FET-a. $C_2 = 50 \dots 100 \text{ pF}$; $C_3 = 100 \text{ pF}$; $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$; $R_2 = 500 \dots 1500 \Omega$; $R_3 = 100 \dots 500 \text{ k}\Omega$

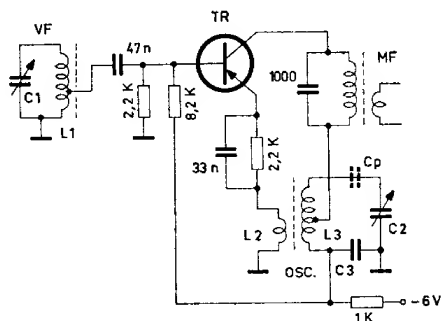
Konvertorski stupnjevi s jednim tranzistorom

Za miješanje je redovito potreban stupanj za miješanje (mikser) i — posebno — oscilator. Međutim, moguće je *isti tranzistor* iskoristiti za obje svrhe: za miješanje i za istovremeno proizvođenje potrebne pomoćne frekvencije, kao na sl. 9-21. Takav konvertorski stupanj nalazi se na ulazu najvećeg broja malih, prenosnih tranzistorskih radio-prijemnika.

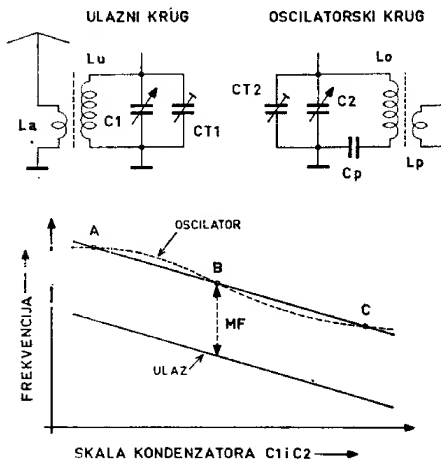
Kod takvih radio-aparata je zavojnica L_1 ulaznog titrajnog kruga namotana na feritnom antenskom štapu. Pomoću promjenljivog kondenzatora C_1 ulazni titrajni krug se dovodi u resonanciju s valom nosiocem one stanice koju želimo slušati. Titrajni krug oscilatora L_3/C_2 sadrži i kondenzator C_3 velikog kapaciteta ($0,1 \mu\text{F}$) koji služi samo za zatvaranje titrajnog kruga. On ujedno sprečava kratak spoj pogonskog napona (6 V preko otpornika od $1 \text{ k}\Omega$), budući da kolektorska struja teče najprije kroz L_3 , a onda i kroz zavojnicu međufrekventnog transformatora MF . U ovome transformatoru je redovito povećan kapacitet (1000 pF ili više). To je potrebno zbog toga, da međufrekventni titrajni krug ne smeta pobuđivanju oscilatora. Zavojnica L_2 služi za povratnu vezu oscilatora. Frekvencija tako pobuđenih titraja je redovito za iznos međufrekvencije viša od one koju primamo.

Promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 se kod većine fabrički proizvedenih tranzistorskih prijemnika (sl. 9-21), kao i kod ostalih radio-aparata okreću zajedničkim mehanizmom. Najčešće im je osovina zajednička. Ako je aparat građen samo za prijem srednjevalnog područja (550 do 1600 kHz), onda neke tvornice daju pločama kondenzatora C_2 (za oscilator) poseban oblik koji je različit od oblika ploča kondenzatora C_1 (za ulazni titrajni krug supera). Oni tada imaju i različite maksimalne kapacitete. Na taj se način postiže

da je oscilatorova frekvencija na bilo kojem mjestu skale uvijek za međufrekvenciju viša. Međutim, ima vrlo mnogo i takvih prijemnika kod kojih su promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 međusobno sasvim jednaki i po obliku ploča i po maksimalnom kapacitetu. Tada ćemo u oscilatoru naći još i kondenzator C_p . Njegovu ulogu ćemo bolje uočiti pomoću sl. 9-22.



Sl. 9-21. Miješanje i oscilator sa istim tranzistorom



Sl. 9-22. Princip postizavanja »složnog hoda« ulaznog i oscilatorskog titrajnog kruga kod superheterodina uz upotrebu višestrukih promjenljivih kondenzatora. Objašnjenje u tekstu

Radio-konstruktor Hazeltine stavio je, prema sl. 9-22, paralelno s promjenljivim kondenzatorom C_1 polupromjenljivi kondenzator maksimalnog kapaciteta 25 do 40 pF, tzv. *trimer*, CT_1 . Jednak je trimer (CT_2) spojen i paralelno s kondenzatorom C_2 . Osim toga oscilatorski krug ima još jedan kondenzator, redovito spojen u seriju sa zavojnicom L_o . Taj je kondenzator (C_p) poznat pod imenom *pading*, a svrha mu je da osigura skladan hod frekvencija ulaznog i oscilatorskog titrajnog kruga, tj. da među tim frekvencijama bude stalna razlika, jednaka međufrekvenciji.

Dijagram na sl. 9-22 pokazuje da promjenu rezonantne frekvencije ulaznog titrajnog kruga (*ulaz*) vjereno slijedi promjena oscilatorove frekvencije (*oscilator*). Veličina međufrekvencije prikazana je dužinom MF . U idealnom slučaju obje bi krivulje bile potpuno paralelne, pa bi frekvencija oscilatora uvijek bila tačno za međufrekvenciju viša od one na koju resonira ulazni titrajni krug.

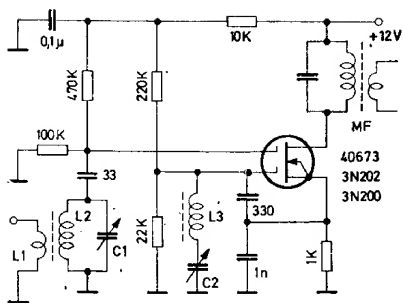
Kod Hazeltine-ove metode je to sasvim tako samo na tri mjesta skale A , B i C . Na ostalim mjestima skale frekvencija oscilatora će biti ili malo previsoka ili malo prenis-

Tablica 9-2. Titrajni krugovi za superheterodinske prijemnike (prema sl. 9-22)

A) Maksimalni kapacitet promjenljivih kondenzatora: 480 pF, Minimalni kapacitet u titrajnim krugovima: 40 do 60 pF, Međufrekvencija: oko 460 kHz.			
Prijemno područje	L_u	L_o	C_p
500 do 1500 kHz	210 μ H	115 μ H	450 pF

B) Maksimalni kapacitet promjenljivih kondenzatora: 350 pF, Minimalni kapacitet u titrajnim krugovima: 35 do 50 pF, Međufrekvencija: oko 460 kHz.			
Prijemno područje	L_u	L_o	C_p
580 do 1550 kHz	240 μ H	130 μ H	425 pF
1,5 do 4 MHz	32 „	25 „	1150 „
4 do 10 „	4,5 „	4 „	2800 „
10 do 25 „	0,8 „	0,75 „	—

C) Maksimalni kapacitet promjenljivih kondenzatora: 140 pF, Minimalni kapacitet u titrajnim krugovima: 25 do 35 pF, Međufrekvencija: oko 460 pF.			
Prijemno područje	L_u	L_o	C_p
1,7 do 4 MHz	50 μ H	40 μ H	1300 pF
3,7 do 7,5 „	14 „	12,5 „	2200 „
7 do 10 „	3,5 „	3 „	4500 „
14 do 30 „	0,8 „	0,78 „	— „



Sl. 9-23. Konvertorski stupanj sa MOSFET-om. Vidi tekst

ka, kako to prikazuje crticama izvučena krivulja na istoj slici. Pokazalo se, da to ne smeta, dok te razlike nisu velike; dok npr. na srednjevalnom području ne prelaze ± 5 do 6%. Na kratkovalnim područjima dozvoljena su i nešto veća odstupanja, budući da je selektivnost ulaznog titrajnog kruga (odn. ulaznih krugova, ako ih je više) na višim frekvencijama znatno manja. Tablica 9-2 sadrži karakteristične podatke uz različite maksimalne kapacitete promjenljivih kondenzatora za srednjevalno i za nekoliko kratkovalnih područja.

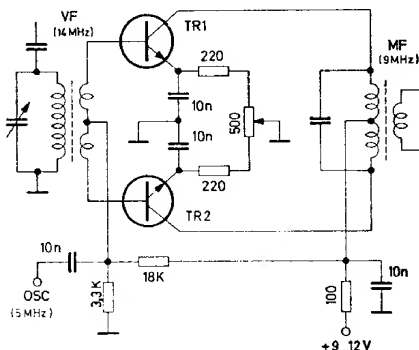
Podaci iz tablice 9-2 vrijede, razumije se, za sve oscilatore u superheterodinima bez obzira na to da li su stupnjevi za miješanje načinjeni prema sl. 9-21 ili tako da je oscilator odvojen.

Za amatere je zanimljiv i konvertor s MOSFET-om, sl. 9-23. Prvi je gejt iskorišten u oscilatoru tipa Clapp. Njegova se frekvencija miješanja promjenljivim kondenzatorom C_2 . Ulazni titrajni krug ugađa se sa C_1 . Na shemi se vidi da je ulazni titrajni krug L_2C_1 spojen na drugi gejt istog tranzistora. Kondenzatori C_1 i C_2 ovdje ne mogu biti na istoj osovinu, osim ako se ne radi o prijemu unutar vrlo uskih područja frekvencije.

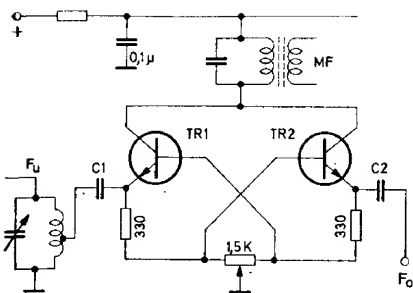
Protufazni (balans) mikseri

Protufazni stupnjevi za miješanje, kao na sl. 9-24, imaju dva tranzistora, TR_1 i TR_2 , spojena protufazno. To znači da na baze ovih tranzistora primani (ulazni) signal dolazi *suprotnim fazama*. I kolektori su protufazno spojeni na prvi titrajni krug međufrekventnog pojačala, MF.

Oscilator, koji mora dati frekvenciju kakva odgovara za miješanje, daje svoju »injekciju« kod OSC. Ako je prijemna frekvencija 14 MHz, a međufrekvencija 9 MHz, onda oscilator mora raditi na frekvenciji od $14+9=23$ ili $14-9=5$ MHz. U takvom se primjeru najčešće odabire frekvencija od 5 MHz, budući da je lakše načiniti stabilan oscilator na nižoj frekvenciji. Kako se vidi na shemi, oscilatorova visokofrekventna struja teče preko kondenzatora (10 nF) na srednji odvojak zavojnice koja je spojena s bazama tranzistora TR_1 i TR_2 . Na obje baze ove oscilacije dolaze sa istom fazom. Ukoliko oba tranzistora pojačavaju sasvim jednako, na »izlazu« se one kod MF ne mogu pojaviti jer onamo stižu *onet istim*



Sl. 9-24. Simetrični stupanj za miješanje s dva bipolarna tranzistora. Precizna simetrija (»balans«) postiže se potencijetrom u emiter-skom strujnom krugu tranzistora TR_1 i TR_2



Sl. 9-25. Međusobnim ukrštanjem priključaka za emitere i baze tranzistora postiže se dvostruko simetriranje u stupnju za miješanje. Vidi tekst

fazama, dok je primarna strana MF transformatora protufazno spojena.

Tranzistori neće baš sasvim jednako pojačavati. Male se razlike mogu popraviti potenciometrom (500 Ω) u emitorskom strujnom krugu. Potenciometrom se postiže neka vrsta ravnoteže, simetrije ili balansa. Otuda ime takvim mikserima.

U integriranom sklopu SL-641 također su dva tranzistora iskorištena za miješanje, prema sl. 9-25. Ulazna frekvencija F_u dovodi se na emiter prvog tranzistora (TR_1). Frekvencija iz oscilatora, F_o , dolazi na emiter drugog tranzistora (TR_2). Kolektori su im spojeni zajedno i priključeni na međufrekventni ulazni transformator MF. Između emitera je niz od dva otpornika i jednog potenciometra za simetriranje. Tranzistorske baze su *unakrsno* spojene: baza tranzistora TR_1 spojena je u emitorski strujni krug tranzistora TR_2 ; baza tranzistora TR_2 u emitorski strujni krug tranzistora TR_1 .

Kada se potenciometrom (1,5 k Ω) uspostavi ravnoteža, tj. kad jedan i drugi tranzistor jednako pojačavaju (kad je ostvaren »balans«) postiže se dvostruki učinak: u kolektorskoj (zajedničkoj!) struji obih tranzistora ne pojavljuje se *ni oscilatorska ni ulazna frekvencija*. Kažemo da je to »*dvostruko balansirani*« mikser.

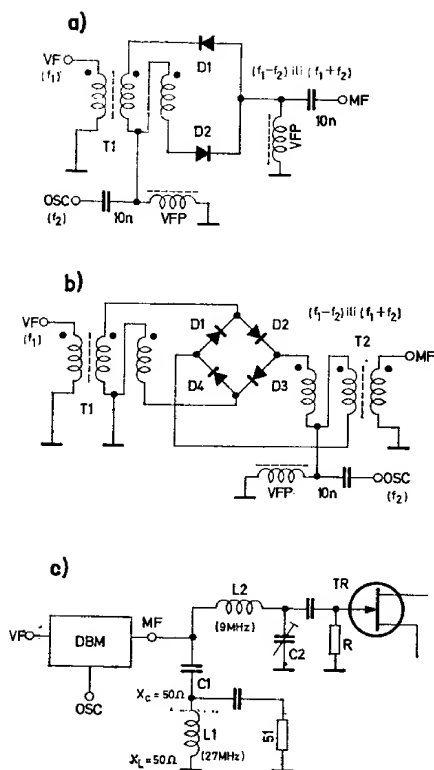
Pasivni protufazni stupnjevi za miješanje

Stupnjevi za miješanje, npr. oni s tranzistorima, koji daju i određeno pojačanje uz trošenje struje napajanja, nazivaju se aktivnima. Nasuprot ovima, ako za miješanje služe diode, one ne trebaju nikakve dodatne pogonske energije, ali kod njih nema ni pojačanja. To su *pasivni stupnjevi za miješanje*.

Diode u pasivnim stupnjevima za miješanje imaju i svojih prednosti od kojih je glavna ta da vrlo dobro podnose i veće amplitude signala. Izobličenja su manja i manje je neželjenih produkata pri miješanju.

Zbog nelinearnosti u svakom se stupnju radio-prijemnika mogu pojaviti neželjene komponente, osobito kod jačih signala. Najčišća sinusoidalna oscilacija postaje iskrivljena. Ovo je osobito kritično u radu stupnjeva za miješanje kod kojih su redovito prisutne barem dvije frekvencije. Jedna od njih, ona oscilatorska, redovito mora imati veću amplitudu (do 20 i više puta veću od primanog signala!). Ako do stupnja za miješanje dođe i prijemni signal sa velikom amplitudom (ukoliko je pojačanje prije miješanja preveliko ili ako je sam prijemni signal prejak, npr. od neke blize, lokalne stanice) može prijem postati nemoguć. Tada se ne miješaju samo dvije frekvencije, već također *njihove harmonične frekvencije* koje nastaju u samom stupnju za miješanje. Rezultat može biti nepopravljiv, osobito onda kad se na istom amaterskom opsegu pojave dvije ili više snažnih lokalnih stanica...

Diodno je miješanje u tome pogledu znatno manje osjetljivo. Dvije diode su upotrebljene u primjeru na sl. 9-26a. Visokofrekventni tranzistor T_1 načinjen je tako da su tri žice *upredene* i »trifilarno« (tj. sve tri zajedno!) namotane na feritnu prstenastu jezgru. Visokofrekventni napon se transformira



Sl. 9-26. a) simetrični mikser s diodama; b) mikser s dvostrukom simetrijom, sa četiri diode koje su serijski spojene u »prsten« (»ring-mikser«); c) princip »dipleksera«, spoja za prilagođenje dvostruko balansiranog miksera (DBM) i za potiskivanje produkata miješanja trećeg reda. Vidi tekst

u omjeru 1:2, dok je transformacija impedancije 1:4. Transformator T_1 je aperiodski, što znači da će on na diode dovesti bilo koji ulazni signal VF, bez obzira na frekvenciju. Ulazna i oscilatorova frekvencija se u diodama miješaju i u međufrekventnom pojačalu može se izabrati ili njihov zbroj ili njihova razlika.

Četiri diode su upotrebljene u »dvostruko balansiranom mikseru«

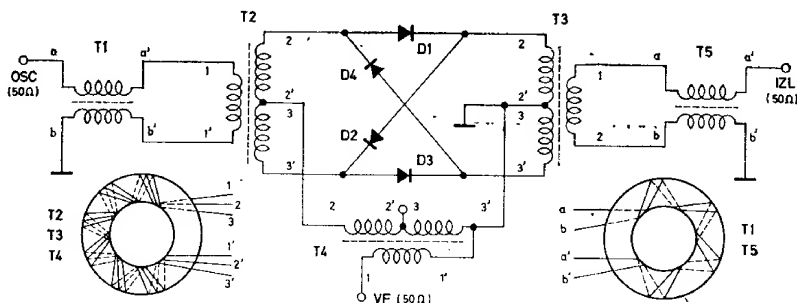
(DBM), sl. 9-26b. Aperiodički visokofrekventni transformatori T_1 i T_2 međusobno su jednaki.

I kod dioda mogu prejak signal izazvati stvaranje neželjenih produkata. Pri tome se kao najjača neželjena komponenta redovito pojavljuje trostruki iznos međufrekvencije. Uz pretpostavku da smo kao međufrekvenciju izabrali 9 MHz, pojavljuje se i 27 MHz. Kad bi i ova frekvencija otišla dalje, mogla bi izazvati nove probleme. Zato je treba odstraniti odmah iz miješanja, kako je to pokazano na sl. 9-26c. Zavojnica L_2 jednim je svojim krajem na niskoomskom izlazu dvostruko balansiranog miksera, DBM. Drugi njen kraj je u vezi s trimerom C_2 koji je dovodi u resonanciju na međufrekvenciji (9 MHz). Tako se postiže transformacija impedancije na više. Preko C_1 i L_1 postiže se serijska resonancija na trostrukom iznosu, tj. na 27 MHz. Tako se ta frekvencija uklanja sa izlaza stupnja za miješanje. Tu je i otpornik od 51 Ω u kojemu se struje trostruke frekvencije utroše na zagrijavanje. Takav uređaj osigurava bolje miješanje jer je i DBM pravilnije opterećen. Naziva se »diplekser«.

Većina tvornički proizvedenih miksera ove vrste može se upotrebiti u vrlo širokom opsegu frekvencija, redovito od 5 do 500 MHz. Budući da ne sadrže nikakvih pojačala, pri miješanju se gubi 6 do 8 dB, što je lako nadoknaditi naknadnim pojačanjem (»post-mikser« pojačalo). Takav mikser može i radio-amater sam načiniti, iako ne tako malih dimenzija kao tvornice.

Sl. 9-27 pokazuje kako treba načiniti takav mikser da svojom kvalitetom odgovara najboljim tvorničkim proizvodima ove vrste.

Najbolje je za ovu svrhu upotrebiti tzv. Schottky (Šotki) diode, poznate i pod imenom »Hot Carrier Diode«. Kod tih je dioda napravljen spoj između kovine i silicija



Sl. 9-27. Dvostruko simetričan stupanj za miješanje s pet širokopojasnih VF transformatora. Opis u tekstu

na takav način da se tok električne struje ostvaruje pretežno *elektromagnetski*. Postižu se vrlo dobra ispravljačka svojstva i kod najviših frekvencija. Otpor im je u propusnom smjeru manji nego kod drugih dioda, dok je u zapornom smjeru vrlo velik. Najvažnije im je svojstvo da u mikserima *najmanje šumje*. Proizvode ih mnoge tvornice.

Ako ne možemo nabaviti prave »šotki-diode«, zadovoljit ćemo se germanijevim ili silicijevim diodama. One moraju imati *što manji vlastiti kapacitet i što bolji odnos vodljivosti* u propusnom prema nepropusnom smjeru. Za amaterska kratkovalna područja bit će one dobre, ukoliko izaberemo četiri diode što sličnijih svojstava.

Potrebna su nam barem dva transformatora (da ih spojimo prema sl. 9-26b) ili tri (T_2 , T_3 i T_4 , prema sl. 9-27). Dodatkom transformatora T_1 i T_5 (sl. 9-27) osigurat ćemo bolju simetriju.

Transformatore treba motati na feritne prstene sa širokopojasnim karakteristikama. Za T_2 , T_3 i T_4 treba uzeti *tri lakirane bakrene žice*, promjera između 0,20 i 0,25 mm, i prije namatanja *upresti* ih. Upredena žica (to se ne vidi na sl. 9-27!) namata se na toroidnu, prstenastu jezgru. Potrebno je 12 do 20 zavoja za sva kratkovalna područja između 3 i 30 MHz. Broj zavoja ovisi, dakako, o vrsti feritnog materijala.

Bit će zato potrebno malo eksperimentiranja. Početke (1, 2 i 3) i krajeve žica (1', 2' i 3') lako je naći om-metrom. Na sl. 9-27 je označeno koji kraj se kamo spaja.

Jednostavniji su transformatori T_1 i T_5 jer treba uzeti samo po *dvi* je žice, kao za već opisano. *I njih ćemo upresti* i motati na prstenaste jezgre jednako kao i za druge transformatore istog miksera.

Ako smo pažljivo radili i očuvali *i geometrijsku simetriju*, možemo očekivati da će mikser dobro raditi. Njegov šum će biti oko 7 dB (diodel), što se može smatrati dovoljno malenim. Oscilatorova »injekcija« neka bude *barem 0,8 V* ili više (*ne preko 3 V*) na 50 Ω. To znači da oscilator mora dati snagu od 4 do 12 mW. Tada će sam stupanj za miješanje moći raditi i uz ulazne signale (na T_1) do 300 ili čak blizu 500 mV, ali i uz takve koji su više nego 100 dB slabiji.

Gubitak pri miješanju doseže blizu 6 dB. Zato je dobro da ispred takvog miksera stavimo jedan stupanj visokofrekventnog pojačanja; dakako uz automatsku ili ručnu regulaciju pojačanja. To će biti korisno za prijem na opsezima od 21 i 28 MHz. Ali, i bez ikakvog visokofrekventnog pojačanja može se naćiniti dobar kratkovalni prijemnik.

Vrlo je korisno pregledati podatke na tablici 9-3. Na njoj su opisane frekvencije koje se mogu

Tablica 9-3. Popis produkata miješanja dvaju frekvencija u različitim mikserima

	Nesimetričan stupanj za miješanje	Jednostruko simetrično miješanje	Dvostruko simetrično miješanje
Niža (f) i viša (F) frekvencija sa harmoničnima	f	f	—
	2f	—	—
	3f	3f	—
	4f	—	—
	5f	5f	—
	F	—	—
	2F	—	—
	3F	—	—
	4F	—	—
	5F	—	—
Mogući produkti miješanja	F—4f	—	—
	F—3f	F—3f	F—3f
	F—2f	—	—
	F—f	F—f	F—f
	F+f	F+f	F+f
	F+2f	—	—
	F+3f	F+3f	F+3f
	F+4f	—	—
	2F—3f	2F—3f	—
	2F—2f	—	—
	2F—f	2F—f	—
	2F+f	2F+f	—
	2F+2f	—	—
	2F+3f	2F+3f	—
	3F—2f	—	—
	3F—f	3F—f	3F—f
	3F+f	3F+f	3F+f
	3F+2f	—	—
	4F—f	4F—f	—
	4F+f	4F+f	—

Napomena: ova tablica sadrži samo produkte miješanja do petoga reda. Tako je, npr., (F + 3f) produkt četvrtog reda, itd.

pojavit, u najnepovoljnijim slučajevima, uslijed nelinearnosti, distorzije i intermodulacije u tri osnovne

vrste stupnjeva za miješanje. Otuda se vidi da tih neželjenih produkata može najmanje biti upravo kod miješanja dvostruko simetričnim stupnjevima (DBM). Na tablici 9-3 popis obuhvata produkte miješanja do petog reda. Oni su najčešći. Kod ekstremno snažnih signala mogu se pojaviti i produkti miješanja daljnjih, viših redova. Ali, i onda ima više izgleda za bolju funkciju onaj prijemnik koji ima stupanj za miješanje s dvostrukom simetrijom i sa manjim pojačanjem ispred njega.

Oscilatori za konverziju frekvencije

Stabilnost nekog superheterodinskog prijemnika najviše ovisi o stabilnosti oscilatora za konverziju frekvencije, pa treba osobitu pažnju posvetiti upravo tom dijelu prijemnika. Frekvencija koja se iz ovog oscilatora dovodi u stupanj za miješanje mora biti što konstantnija. Zato oscilator treba da je neosjetljiv na mehaničke potrese, na promjene pogonskih napona, kao i na promjene temperature.

Osjetljivost oscilatora na mehaničke potrese, drmanje i udarce može se smanjiti samo uz upotrebu mehanički stabilnih i dobro učvršćenih sastavnih dijelova. Zica na zavojnicima mora čvrsto »sjediti« na tijelu na kojemu je namotana. Promjenljivi kondenzator mora »ići« bez skokova i bez mrtvog hoda. Spojevi treba da su načinjeni što kraćim i krutim, ne pretankim žicama. Ostali dijelovi moraju također biti dobro učvršćeni i ne smiju »visjeti« na žicama. Šasija na kojoj je sagrađen prijemnik ne smije biti iz pretankog lima (prema veličini šasije: 1 do 2 mm debeo aluminijski lim!).

Ako se pokaže da promjena napona ima prevelik utjecaj na frekvenciju oscilatora, onda treba njegov pogonski napon posebno stabilizirati.

Promjenljivi kondenzatori neka budu, po mogućnosti što bolje kvalitete, sa keramičkom izolacijom.

Fiksni kondenzatori treba da su sa što manjim temperaturnim koeficijentom promjene kapaciteta. Oni mogu biti polistirolski. Domaći kondenzatori s polistirolskom izolacijom su se pokazali vrlo dobrima. Mnogi preporučuju kondenzatore s posrebranim pločicama od tinjca (tzv. »silvered mica«) ali takvi se rijetko mogu nabaviti. Keramički kondenzatori, osim specijalnih, obično nisu dobri za titrajne krugove u oscilatorima, ali za blokiranje vodova i za tzv. rasprezanje mogu dobro poslužiti.

Gradnja oscilatora na »štampanim« pločicama (pertinaks ili vitroplast, kaširan tankim slojevima bakra; »Donit«, Kamnik) je u praksi dobra, ali ne treba težiti za pretjeranom minijaturizacijom. Pregusto i pretanko načinjeni vodovi mogu biti uzrok kratkim spojevima, lošijoj međusobnoj izolaciji ili prekidima.

Oscilator je dobro oklopiti i, ako je moguće, limenu kutijicu u kojoj se nalazi oscilator obložiti stiroporom (1 cm debljine je više nego dosta!). U toj kutijici ne smije biti ničega što se zagrijava (jače opterećeni otpornici i sl.).

Osim toga oscilator treba staviti podalje od ispravljača koji daje struju napajanja. Najbolje je da ispravljač bude u posebnoj kutiji. Tada prijemnik nije zaštićen samo od zagrijavanja, već i od rasipnih magnetskih polja u blizini mrežnih transformatora.

Oscilator mora dati dovoljan visokofrekventni napon, ni premalen ni prevelik! Ako su oscilacije preslabe, bit će miješanje loše, sa mnogo šuma. Ako li su prejake, onda se javljaju i više harmonične frekvencije, a s njima i »fantomski«, neželjeni signali. Prema tome, ni povratna veza ni pogonski napon ne smiju biti preveliki. Uz niži napon je i zagrijavanje manje, pa ćemo odabrati tako nizak napon, kod kojega će nam oscilator dati

slabe, ali upravo još dovoljne oscilacije, da prijem bude normalne jačine, stabilan i sa što manjim šumom.

Izbor sheme za gradnju oscilatora neće biti težak. U ovoj knjizi je 8. poglavlje posvećeno oscilatorima. Osim toga će u pojedinim primjerima biti konkretnih predloga za odgovarajući oscilator.

MEĐUFREKVENTNO POJAČALO

Međufrekventno pojačalo je onaj dio superheterodinskih prijemnika u kojima se postiže najveći stupanj pojačanja i selektivnosti. Međufrekventno pojačalo može imati jedan, dva ili tri stupnja, već prema veličini prijemnika i visini međufrekvencije. Pojačanje u samom međufrekventnom pojačalu dosiže kod komunikacijskih prijemnika i do 80 dB.

Izbor međufrekvencije

Jedna od najvažnijih odluka koju mora donijeti konstruktor supera je izbor međufrekvencije. Što je ona niža, to je lakše postići veliko pojačanje i dobru selektivnost. Što je, međutim, međufrekvencija viša to će, zbog veće razlike između frekvencije signala koji primamo i frekvencije oscilatora, opasnost od smetnja zrcalnim frekvencijama biti manja.

Kod niske međufrekvencije je razlika među ovim frekvencijama relativno malena, pa se često, osobito kod lokalnih i drugih vrlo jakih signala, javlja »povlačenje oscilatora«. Nasuprot tome, kod visoke međufrekvencije ove pojave gotovo nema, ali je teže jednostavnim sredstvima postići i potrebno pojačanje i selektivnost.

Najčešća vrijednost međufrekvencija je u području 440 do 480 kHz. Tu se s jednim do dva stupnja mogu postići vrlo dobro selektivnosti uz dovoljno pojačanje. Ni zrcalne frekvencije ni povlačenje oscilatora ne predstavljaju

znatnije poteškoće sve do prijemnih frekvencija oko 7 MHz.

Na 14 MHz javljaju se vrlo jake zrcalne frekvencije ako je stupanj za mješanje neposredno na ulazu prijemnika, spojen sa antenom. Ovo se stanje može popraviti dodatkom barem jednog, bolje dva visokofrekventna stupnja između antene i miksera.

Iznad 14 MHz sve se više javlja ju i posljedice povlačenja oscilatora, osim ako je veza između miksera i oscilatora vrlo slaba. Bilo je takvih prijemnika koji su uz ovu međufrekkvenciju mogli primati signale sve do frekvencija od 30 MHz ili više. Prijem ipak nije zadovoljavao.

Druga, nekad popularna među frekvencija je oko 1600 do 1800 kHz. Ona osigurava stabilan prijem bez velikog povlačenja oscilatora i bez izraženih zrcalnih frekvencija u svim kratkovalnim područjima sve do 30 MHz, ako se ispred stupnja za mješanje nalazi dobar stupanj visokofrekventnog pojačanja. Da se postigne dovoljno pojačanje potrebna su barem dva međufrekventna stupnja. Selektivnost je manja nego kod nižih međufrekvencija.

Današnji prijemnici s jednostrukom transpozicijom, i fabrički kao i amaterske samogradnje, najčešće imaju međufrekkvenciju od 9 MHz, za koju postoje vrlo dobri kvarcovi filteri. Njihov propusni opseg frekvencija je moguće po želji i potrebi izabrati od petnaestak kHz, preko 2,4 kHz sve do samo 500 ili čak oko 300 Hz. Selektivnost tako može biti kolikogod hoćemo velika, uz veliku sigurnost od prodora zrcalnih frekvencija.

Dok još nije bilo takvih kristalnih filtera, bolji prijem je bilo moguće postići samo prijemnicima sa dvostrukom transpozicijom, s tzv. dvojnim superima. Kod ovih je problem izbora međufrekvencije zamršeniji, budući da ovisi o različitim okolnostima. Drugačiji ćemo par međufrekvencija izabrati ako želimo veliku selektivnost kod prijema signala kojima je frekvencija niža

(npr. 3,5 i 7 MHz), a drugačiji par ako želimo primiti više frekvencije (do 30 MHz i iznad toga). Za prijem radio-amaterskih kratkovalnih područja između 3,5 i 30 MHz dobar kompromis se postiže uz prvu međufrekkvenciju koja leži u području od 1600 do 3000 kHz i drugu između 50 i 100 kHz. Tako su bili konstruirani mnogi prijemnici fabričke proizvodnje, namijenjeni za potrebe telekomunikacija.

Ako radio-amater želi da sam sagradi dvojni super, onda može ići i drugim putem. Takve amaterske konstrukcije imaju na ulazu stupanj za visokofrekventno pojačanje. Iza ovog slijedi konvertor u kojemu oscilator radi na tako izabranim *fiksni*m frekvencijama da se svako amatersko kratkovalno područje (cijelo ili po dijelovima) »prebaci« u područje promjenljive prve međufrekvencije između 3,5 i 4 MHz. Ovo područje, odgovara 80-metarskom amaterskom području. U prijemniku je još drugi stupanj za mješanje. On ima oscilator *promjenljive* frekvencije koji transponira signale na drugu, nižu međufrekkvenciju (oko 450 kHz ili niže). Potrebna *selektivnost* se može na drugoj međufrekvenciji osigurati upotrebom posebnih sredstava, kao što je filter sa *kvarcovim kristalom* o kojemu će kasnije biti govora. Pri tome se 10-metarsko područje (28 do 29,7 MHz) mora razdijeliti na 2 do 4 dijela. To za operatora nije najspretnije ali je zato na svim područjima osiguran prijem jednake kvalitete, kao i na 80-metarskom.

Opće pravilo kojega se moramo držati pri izabiranju međufrekvencije jest da za ovu svrhu treba izbjevati ona područja u kojima redovito ima mnogo jačih signala. Po međunarodnim konvencijama najmanje radio veza se održava na frekvencijama oko 450 kHz, zatim oko 1,7 MHz, te oko 5,5, 9 i 10,7 MHz. To su najčešće vrijednosti međufrekvencija.

Od neželjenih signala koji bi na neki način mogli prodrijeti u međufrekventno pojačalo treba se osigu-

rati oklapanjem pojedinih stupnjeva, kao i čitavog prijemnika, te posebnim blokiranjem onih vodova preko kojih prijemnik dobiva pogonske napone. Električna mreža je najčešći izvor takvih smetnja.

Nekoliko tipičnih shema

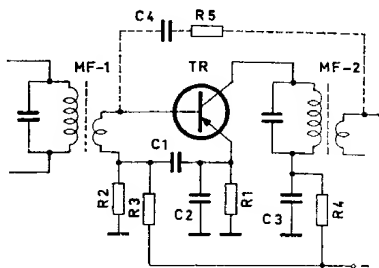
Međufrekventno pojačalo redovito ima jedan ili dva, a vrlo rijetko tri stupnja.

Međufrekventno pojačalo sa tranzistorom tipa P-N-P prikazuje sl. 9-28. Uz promjenu polariteta izvora struje napajanja mogu na isti način poslužiti i tranzistori tipa N-P-N. Kod starijih tipova tranzistora (OC 45 i slični) potrebna je neutralizacija da se spriječi osciliranje međufrekventnog pojačala. Tome služe C_4 i R_5 (obilježeno crticama). Savremeni, specijalno građeni silicijevi planarni N-P-N tranzistori (BF 267, BF 273 i sl.) obično ne trebaju nikakve neutralizacije.

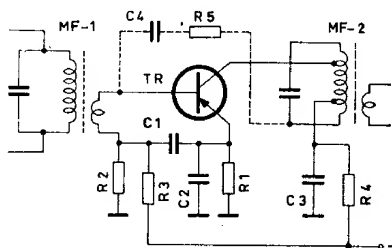
Tranzistorsko međufrekventno pojačalo na sl. 9-29 malo se razlikuje od predašnjeg. Međufrekventni transformator MF_2 ima odvojke. Na jedan od njih je priključen kolektor da se razmjerno niska kolektorova impedancija prilagodi visokoj impedanciji međufrekventnog titrajnog kruga. Drugi odvojak osigurava mogućnost priključka kondenzatora C_4 i otpornika R_5 . Oni i ovdje služe za neutralizaciju koja je neizbježiva pri upotrebi nekih vrsta tranzistora. Ovaj način neutralizacije je češći kod malih tranzistorskih radio-aparata američke i japanske proizvodnje, dok je onaj predašnji način češći kod tranzistorskih radio-aparata evropske proizvodnje.

Međufrekventno pojačalo sa N-P-N tranzistorom (BF 167, BF 267) može se načiniti prema sl. 9-17b. MOSFET se može upotrebiti prema sl. 9-17c. Treba samo visokofrekventne titrajne krugove zamijeniti međufrekventnima.

U malim tranzistorskim radio-prijemnicima, u međufrekventnim



Sl. 9-28. Primjer tranzistorskog međufrekventnog pojačala. $C_1 = C_2 = C_3 = 20 \dots 100$ nF; $C_4 = 10 \dots 100$ pF; $R_1 = 1$ k Ω ; $R_2 = 2 \dots 5$ k Ω ; $R_3 = 10 \dots 50$ k Ω ; $R_4 = 1$ k Ω ; $R_5 = 300 \dots 3000$ Ω



Sl. 9-29. Tranzistorsko međufrekventno pojačalo s drugačijom neutralizacijom. $C_1 = C_2 = C_3 = 20 \dots 100$ nF; $C_4 = 10 \dots 100$ pF; $R_1 = 1$ k Ω ; $R_2 = 2 \dots 5$ k Ω ; $R_3 = 10 \dots 50$ k Ω ; $R_4 = 1$ k Ω ; $R_5 = 300 \dots 3000$ Ω

pojačalima se između pojedinih stupnjeva nalazi po jedan titrajni krug, kao na sl. 9-28 i sl. 9-29. U boljim radio-aparatima na tim mjestima su »bandfilteri«, tj. pojasni filteri koji osiguravaju bolju selektivnost.

Povećanje selektivnosti

U komunikacijskim se prijemnicima ne možemo zadovoljiti s takvom selektivnošću kakvu posjeduju obični radio-aparati. Tu je potrebna znatno veća selektivnost. Tako za prijem AM telefonije širina propusnog pojasa treba da bude oko

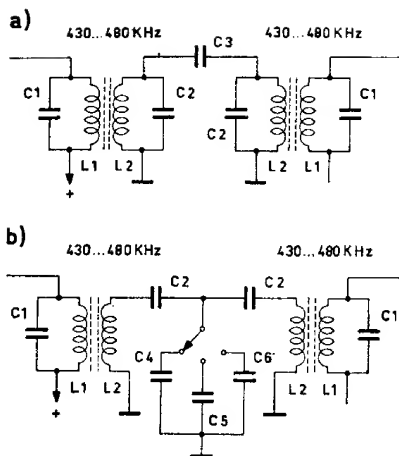
6 kHz, za prijem SSB signala 2,5 do 3 kHz, a za prijem telegrafije oko 0,5 kHz i manje.

Najjednostavniji način za postizavanje veće selektivnosti u međufrekventnom pojačalu je primjena tzv. *udvojenih međufrekventnih bandfiltera*. Na sl. 9-30a su takva dva bandfiltera međusobno povezana na kondenzatorom malog kapaciteta C_3 . Njegova će veličina za međufrekvenciju između 430 i 480 kHz biti 2 do 5 pF, prema selektivnosti koju želimo postići. Ovakav par međufrekventnih bandfiltera stavlja se redovito odmah iza stupnja za miješanje, dakle na *ulaz u međufrekventno pojačalo*.

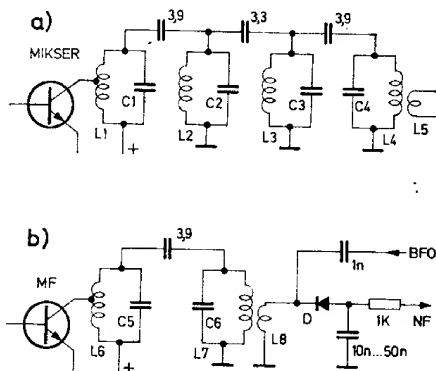
Želimo li da selektivnost udvojenih bandfiltera bude promjenljiva, treba vezu među bandfilterima mijenjati. To se može najlakše postići na način koji je prikazan na sl. 9-30b. Oba kondenzatora C_2 su originalni kondenzatori koji su obično ugrađeni u bandfilterima. Njih ćemo na »hladnom« kraju titrajnih krugova osloboditi i tako dobivene njihove slobodne krajeve spojiti međusobno i, istovremeno, na pomični kontakt tropolnog preklopnika. Ovim preklopnikom je moguće uključiti kondenzator C_4 ili C_5 ili C_6 . Oni imaju razmjerno velik kapacitet, a njihova impedancija je zajednička jednom i drugom titrajnom krugu L_2/C_2 . Kondenzatori C_4 , C_5 i C_6 razlikuju se po veličini kapaciteta, pa je selektivnost veća ako je veći kapacitet uključenog kondenzatora.

Takvim spajanjem većeg broja međufrekventnih titrajnih krugova postižu se još veće selektivnosti. Sl. 9-31a pokazuje niz od četiri takva titrajna kruga koji su međusobno povezani kondenzatorima malog kapaciteta. Na L_5 priključuje se slijedeći tranzistor. Ispred demodulatora, sl. 9-31b, također može doći kapacitivno vezani bandfilter. Svaki titrajni krug, L_1C_1 , L_2C_2 i dalje redom, sve do L_7C_6 , mora doći u svoj poseban oklopni »lončić«.

Mnogo veća selektivnost postiže se pomoću *kvarcovih kristala*. Dva



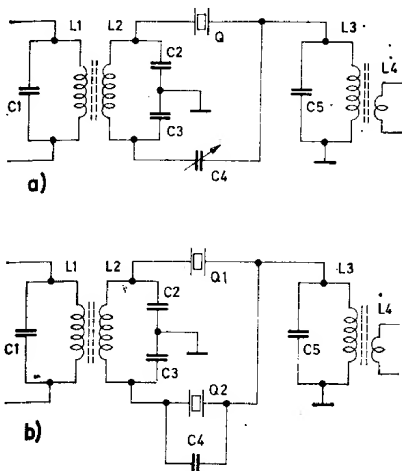
Sl. 9-30. Postizavanje veće selektivnosti udvostručenjem bandfiltera: a) pomoću fiksne kapacitivne veze preko $C_3 = 5$ pF; b) pomoću većeg broja kondenzatora može se selektivnost mijenjati. $C_4 = 10$ nF; $C_5 = 33$ nF; $C_6 = 100$ nF



Sl. 9-31. a) selektivni četveročlani bandfilter koji može biti uključen odmah iza miksera; b) kapacitivno vezani bandfilter s dva titrajna kruga, spojen ispred demodulatora u superu

primjera međufrekventnih filtera sa kvarcom vidimo na sl. 9-32.

U primjeru a) je upotrebljen samo jedan kristal. Frekvencija kvarcovog kristala mora biti jed-



Sl. 9-32. Međufrekventni filteri s kvarcovim kristalima: a) s jednim kristalom; b) s dva kristala. Vidi tekst

naka međufrekvenciji. Svaki takav kristal, osim pločice kvarca, ima još dvije elektrode između kojih je ona smještena. Ove elektrode, zajedno sa držačem, imaju neki kapacitet kroz koji bi mogle proći i one frekvencije na koje kvarcova pločica ne resonira. Da se ovo spriječi, kvarc Q se spaja u neku vrstu mosta u kojemu je kapacitet njegovog držača i elektroda kompenziran kapacitetom promjenljivog kondenzatora C_4 . Filter tada može propustiti samo vrlo uzak opseg frekvencija, određen rezonancijom kvarca. Ako je uz zavojnicu L_2 u običnom međufrekventnom bandfilteru bio kondenzator određenog kapaciteta, moraju kapaciteti C_2 i C_3 u tome mostu imati dvostruku vrijednost.

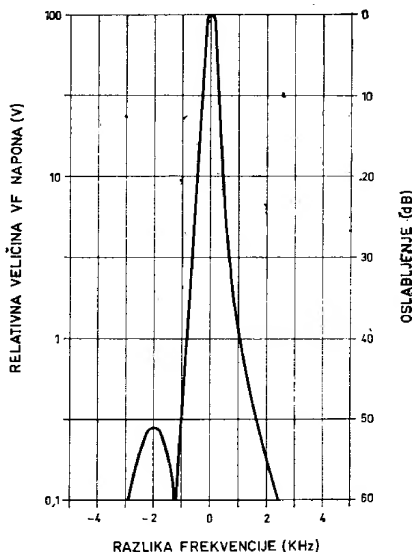
Krivulju rezonancije ovakvog kvarcovog međufrekventnog filtera prikazuje sl. 9-33. Ako C_4 ima malo veći ili malo manji kapacitet od onoga koji treba za tačnu kompenzaciju, javlja se s jedne ili s druge strane maksimuma rezonancije duboka »nula«, koju nazivaju i »anti-rezonancijom«. To je frekvencija

koja ne može proći kroz filter. Mijenjanjem kapaciteta C_4 može se položaj antiresonancije mijenjati, bliže ili dalje, na jednoj ili na drugoj strani. Tako možemo ukloniti onu frekvenciju koja nam upravo smeta prijemu.

Selektivnost kvarcovog filtera je to veća što su titrajni krugovi lošije kvalitete. Odabiranjem titrajnih krugova određene kvalitete možemo postići određeni stupanj selektivnosti. Uz prosječne titrajne krugove biti će selektivnost dobra za prijem telegrafskih i SSB signala, ali redovito prevelika za normalan prijem AM signala.

Manje šiljatu krivulju, sa vrlo strmim bokovima moguće je postići, ako se u međufrekventno pojačalo stavi kvarcov filter sa dva kristala, kao što su Q_1 i Q_2 na sl. 9-32b.

Razlika rezonantnih frekvencija među kristalima Q_1 i Q_2 treba da je malo manja od onog opsega frekvencija koji želimo da takav filter propusti. Za postizanje veće strmine bokova rezonantne krivulje



Sl. 9-33. Krivulja rezonancije međufrekventnog kvarcnog filtera

može se paralelno sa kvarcom Q_2 (koji ima višu frekvenciju od Q_1) staviti malen dodatni kapacitet (1 do 5pF). Titrajni krug sa zavojnicom L_3 jednak je titrajnom krugu koji ima zavojnicu L_1 . Što je njegova kvaliteta bolja (veći Q -faktor) to će propušteni opseg frekvencija biti širi, krivulja resonancije pravilnija, a njeni bokovi strmiji. Ima li zavojnica L_3 loš Q -faktor, na krivulji resonancije se suviše ističu vrhovi, uvjetovani vlastitim resonancijama upotrebljenih kristala.

Mnoge tvornice izrađuju posebne kvarcove kristale za međufrekventne filtere, ali mnogi radio-amateri koristili su one iz vojnih viškova (»surplus«). Oni su obično u držaču koji je poznat pod oznakom »FT-241-A«. Na njima nije ispisana osnovna frekvencija, već broj kanala (»channel«) i frekvencija do koje se u nekom uređaju dolazilo tek iza umnožavanja. Uglavnom ih ima dvije vrste. Na jednim su kanali označeni manjim brojevima (od 0 do 79). Kod njih ćemo osnovnu frekvenciju izračunati tako, da frekvenciju kanala podijelimo s 54. Ako, npr. nađemo natpis: »Channel 48 — 24,8 MC«, onda izlazi računom:

$$\frac{24,8 \text{ MHz}}{54} = \frac{24.800}{54} \text{ kHz}$$

$$= 459,259 \text{ kHz} = 459,3 \text{ kHz}$$

Oni kristali koji nose trocifreni broj kanala i oznaku frekvencije također su dobri za međufrekventne filtere. Frekvenciju koja je na njima označena treba podijeliti sa 72 da se izračuna osnovna frekvencija kristala. Primjer: »Channel 326 — 32,6 MC« označuje kristal s vlastitom osnovnom frekvencijom:

$$\frac{32,6 \text{ MHz}}{72} = \frac{32\,600}{72} \text{ kHz}$$

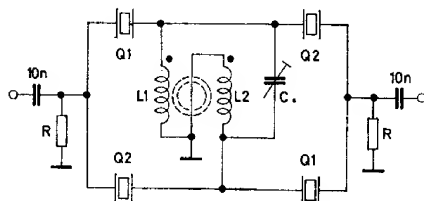
$$= 452,777 \text{ kHz} = 452,8 \text{ kHz}$$

I kristali drugih frekvencija se mogu na sličan način ugraditi u filtere. Bilo je već amaterskih kon-

struktora koji su za tu svrhu upotrebili kvarc-kristale iz primopredajnika za tzv. građanski opseg (CB = Citizens Band). Oni rade na frekvencijama oko 27 MHz. Predajnici su upravljani kvarcovim kristalima koji su »overtonski«, što znači da im je osnovna frekvencija oko 9 MHz. Razmak između dva susjedna »kanala« je 10 kHz. Prema tome je razlika osnovnih frekvencija 3,3 kHz!

Za samogradnju je osobito pogodan i filter sa četiri kristala, sl. 9-34. Dva i dva kristala moraju imati istu serijsku resonanciju, dok razlika frekvencija između Q_1 i Q_2 ovisi o selektivnosti koju želimo postići. Zavojnica L_1/L_2 je bifilarno motana, kao T_1 na sl. 9-27, ali s tom razlikom da prsten *ne smije* biti iz ferita sa širokopojasnim karakteristikama. Broj zavoja ovisi o frekvenciji kristala budući da zavojnica L_1/L_2 mora s kondenzatorom C resonirati na tu frekvenciju. Filter je simetričan i mora biti »zaključan« otpornicima R (između 500 i 5000 Ω). Odabire ih se tako da filter podjednako propušta sve frekvencije unutar odabranog opsega. Određuje se pokusom. Shema vrijedi za sve međufrekvencije od 450 kHz do 9 MHz.

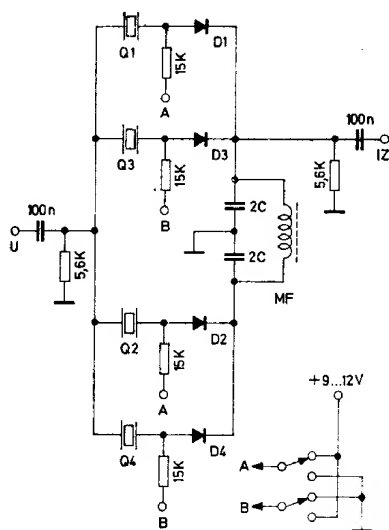
Pojedini filter, fabrički ili načinjen samogradnjom, ima konstantnu selektivnost. Ako je potrebno mijenjati širinu propusnog opsega može se preklopnicima jedan filter zamijeniti drugim. Mehanički preklopnici su dobri, ali nisu osobito spretni za ugradnju. Bolje je u tu svrhu koristiti *prekapćanje pomo-*



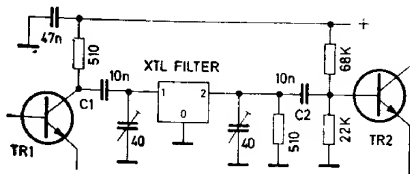
Sl. 9-34. Kristalni filter s četiri kvarca. Vidi tekst

ću dioda. Na sl. 9-35, koja je razmjerno jednostavna, postoje dva para kristala. Q_1 i Q_2 su kristali kojima se frekvencija razlikuje, npr. za 1,8 kHz. Kristalima Q_3 i Q_4 neka je ta razlika samo 0,3 kHz.

Dovede li se na diode D_1 i D_2 preko A pozitivan prednapon, one provedu struju i njihov se otpor jako smanji. Uključeni su kristali Q_1 i Q_2 . Uključivanjem pozitivnog napona preko B na isti se način uključuju kristali Q_3 i Q_4 . Neuključene diode u svakom su slučaju bez prednapona i nisu vodljive. MF je titrajni krug koji mora biti ugođen na međufrekvenciju.



Sl. 9-35. Izabiranje različite selektivnosti kristalnih filtera pomoću dioda. Opis u tekstu

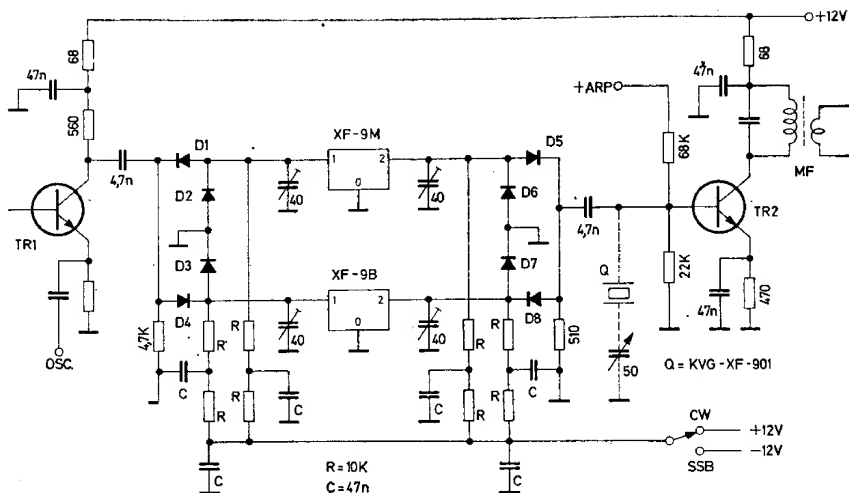


Sl. 9-36. Tvornički međufrekventni kristalni filter između dva tranzistora

Jednostavnije je upotrebiti gotove, tvornički proizvedene filtere. Oni bez poteškoća garantuju puni uspjeh. Spajaju se prema sl. 9-36. Mnogi takvi filteri imaju ulaznu i izlaznu vrijednost otpornog i kapacitivnog opterećenja određenu sa 500 Ω i 30 pF. Na shemi se vidi kako je to postignuto. Trimerske kondenzatore (40 pF) treba namjestiti tako da bude unutar propusnog opsega valovitost najmanja, tj. da frekvencije unutar propusnog opsega podjednako prolaze kroz filter.

Za promjenu selektivnosti treba imati više filtera za istu međufrekvenciju, ali za različito širok propusni opseg. Sl. 9-37 pokazuje kako se mogu birati filteri. Međufrekventni filter sa oznakom XF-9M je za telegrafiju. Njegov propusni opseg je oko 500 Hz. Drugi filter, XF-9B, je predviđen za propusni opseg od 2,4 kHz (za SSB-sigale!). Ukupno osam dioda služi za prekapćanje filtera. To mogu biti i silicijeve diode s malim vlastitim kapacitetima. Jednostavnim prebacivanjem preklopnika šalje se na diode ili prednapon + 12 V ili - 12 V, prema tome da li želimo primati telegrafiju (CW) uz veću selektivnost ili telefoniju (SSB) uz potrebnu manju selektivnost. Zanimljivo je pratiti tok električne struje u ta dva slučaja i vjerujemo da će čitatelj to rado sam poduzeti.

Na istoj slici (sl. 9-37) ima i jedan manje poznati detalj. On je nacrtan kao serija kristala Q i kapacitivnog trimera od 50 pF, spojena na bazu tranzistora TR₂. Kristal Q izgrađuje ista tvornica (KVG, Nekar-Bischofsheim, S. R. Njemačka). On ima oznaku XF-901. Njegova serijska resonancija (koja se normalno ne koristi!) pada unutar propusnog opsega i jednoga i drugoga filtera! Mijenjanjem serijskog kapaciteta (trimera!) mijenja se ta resonancija onako, kako se vidi na sl. 9-38. Izvučena krivulja je dobivena mjerenjem. Za promjenu kapaciteta od 8 do 30 pF moguće je promi-

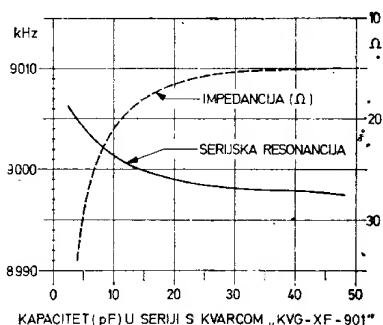


Sl. 9-37. Dva kristalna filtera, XF-9M za prijem telegrafije i XF-9B za prijem SSB, mogu se pomoću dioda zamijeniti jedan s drugim. Kristal Q (KVG-XF-901) omogućuje da se priguši interferentna smetnja unutar propusnog opsega. Vidi tekst

jeniti frekvenciju uzduž čitavog opsega. Impedancija kvarca, zajedno sa trimenom, pri tome se mijenja od 23 do 15 Ω .

Ako osim signala koji želimo čuti, kroz filter prođe i neki drugi

koji nam smeta, možemo ga uspješno odstraniti ili barem znatno oslabiti, ako serijsku rezonanciju kristala XF-901 dovedemo na tu vrijednost. Kristal onda predstavlja »kratak spoj« za tu frekvenciju. Utjecaj na ono što primamo ne može se primijetiti uhom.



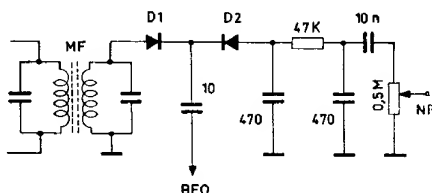
Sl. 9-38. Promjena serijske rezonancije kristala KVG-XF-901 pri promjeni kapaciteta serijskog kondenzatora, kao na sl. 9-37. Isprekidana krivulja pokazuje kako se pritom mijenja serijska impedancija. Vidi tekst

DRUGI DETEKTOR I POMOCNI OSCILATOR (BFO)

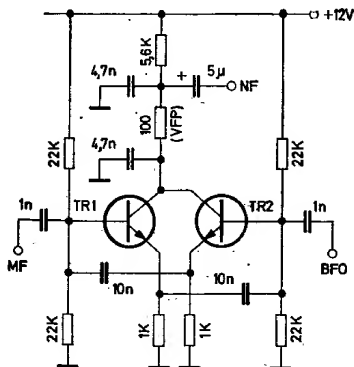
Iza međufrekventnog pojačala u superu dolazi tzv. drugi detektor. To je stari naziv, jer su nekada stupanj za miješanje nazivali prvim detektorom. Danas više nema tog naziva. Moderan mikser ili konvertor samo su još po svojoj funkciji slični nekadašnjim stupnjevima za miješanje. Drugi detektor se danas naziva i demodulatorom ili, jednostavno, detektorom. U principu bi to mogao biti bilo kakav od detektora koje smo ranije opisali. Audion služi u tu svrhu samo u sasvim malim superima. U svakom većem superu, pa i u onome koji je

namijenjen za radiofoniju, detektor mora da podnese signale, koji dolaze iz međufrekventnog pojačala pa su zato prilično jaki. Za takve signale mogu poslužiti *detektor s beskonačnom impedancijom*, a osobito *diodni detektori*. Za prijem CW i SSB signala danas dolaze u obzir pretežno *produkt-detektori*. Uz ranije opisane još su dva primjera na sl. 9-39 i sl. 9-40.

Za prijem ove posljednje dvije vrste signala potreban je još i poseban *pomoćni oscilator*, tzv. BFO. (To je kratica od engleskog naziva: Beat Frequency Oscillator.) Njegova frekvencija je malo različita od međufrekvencije. Telegrafski signali interferiraju s frekvencijom tog oscilatora, a visina tona koji čujemo jednaka je razlici između međufrekvencije i one koju proizvodi BFO. Za prijem SSB signala, kako ćemo vidjeti kasnije u posebnom



Sl. 9-39. Produkt-detektor s germanijevim diodama



Sl. 9-40. Produkt-detektor s dva silicijeva tranzistora

poglavlju, također je potreban BFO. Njegova frekvencija odabire se tako da što tačnije nadomjesti val nosilac koji je bio potisnut kod emisije SSB signala. U principu može za BFO poslužiti bilo koji od već opisanih oscilatora, ako mu je frekvencija dovoljno stabilna i ako je možemo mijenjati za ± 3 kHz. Da se postigne potrebna stabilnost BFO se kod boljih prijemnika napaja stabiliziranim naponom, a u svom titrajnom krugu ima razmjerno velik kapacitet. Za demodulaciju frekventno moduliranih signala služe posebni detektori. Opisat ćemo ih u poglavlju o FM uređajima.

AUTOMATSKA REGULACIJA POJAČANJA

Komunikacijski prijemnici moraju biti tako osjetljivi da »uhvate« i one najslabije signale i da ih načine razumljivima iako su tamo negdje na rubu šumova. Također moraju uspješno »podnijeti« i daleko jače signale, koji su možda i za 100 dB ili još više »iznad« onih najslabijih. Mora se, prema tome, primijeniti neki način regulacije pojačanja. Pojačanje čitavog prijemnika mora biti mnogo veće za slabe signale, dok za jake signale mora biti mnogo manje. To se postiže ručnom (RRP) ili automatskom regulacijom pojačanja (ARP).

Automatskom regulacijom pojačanja prilagođuje se prijemnik signalu koji prima. On ujedno mijenja pojačanje prema potrebi, ako sam signal nije stalne jakosti (engl. fading = nestajanje). Da se to postigne, u prijemniku se mora dobiti regulacijski napon koji djeluje na pojačala; u prvom redu na međufrekventna a onda i na visokofrekventna pojačala.

Pomoćni napon koji ovisi o jakosti signala, a koji može poslužiti za automatsku promjenu pojačanja, u superima obično daje diodni detektor. Ispravljanjem signala dobije se potreban napon i on, prema

Opseg regulacije kod germanijevih tranzistora nije velik. Zato je ARP nedovoljna za vrlo jake, lokalne signale. Poradi toga se u nekim tranzistorskim superima može naći još jedna dioda (D_2). Ona je spojena na tačku A tako da je njena anoda na potencijalu kolektora tranzistora TR_1 , dok je njena katoda spojena s tačkom B u kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_2 . Zbog prisutnosti otpornika R_3 , u tački B je potencijal niži nego u tački A . Dioda D_2 je na taj način zatvorena i kroz nju ne teče nikakva struja. Ako, uslijed djelovanja

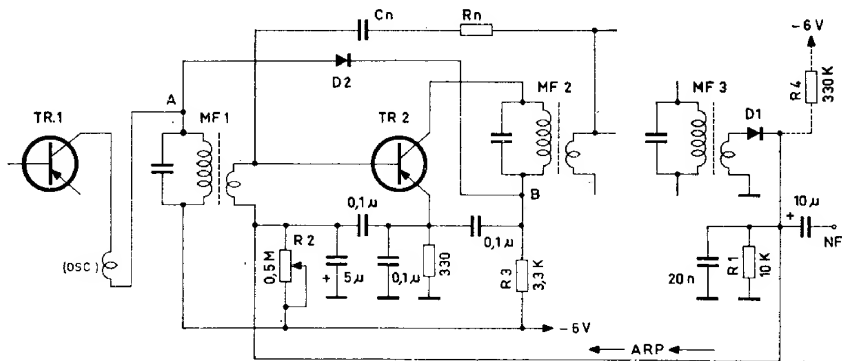
APR, jakost kolektorske struje tranzistora TR_2 postane manja, smanjit će se pad napona na R_2 . Kod vrlo jakih signala dioda D_2 počne propuštati i prigušuje međufrekventni transformator $MF1$ smanjujući njegov Q -faktor. Zbog toga pada amplituda signala pomažući djelovanje APR.

Sl. 9-42 pokazuje kako može biti sličan način regulacije pojačanja primijenjen u međufrekventnom pojačalu sa bandfilterima.

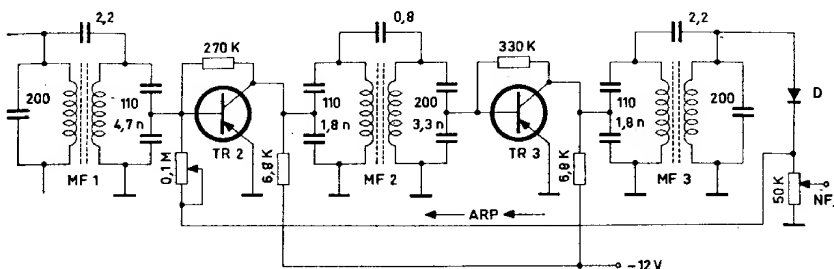
Silicijevi planarni N-P-N tranzistori BF167 (BF 267) omogućuju vrlo dobru regulaciju pojačanja. Primjer je na sl. 9-43. Na pojačanje se tu može djelovati na dva načina: povećavajući kolektorsku struju ili smanjivajući je. Iako se na prvi način postiže «energičnija» regulacija, povećanje kolektorske struje nije poželjno ako kod nekog prenosnog prijemnika treba štedeti baterije. Zato smo se odlučili za regulaciju *smanjivanjem* kolektorske struje. Da regulacija bude jača, neka djeluje na oba tranzistora.

Napon napajanja je +10 do 12V. Za puno pojačanje mora i napon +ARP biti tako visok. Smanjuje li se taj napon, smanjuje se i pojačanje.

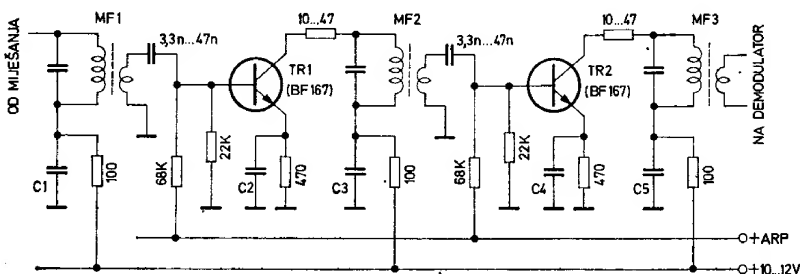
Kod prijema telegrafskih znakova (CW), kao i kod prijema SSB-signalâ, nema vala nosioca koji bi svojom stalnom prisutnošću osigu-



Sl. 9-41. Automatska regulacija pojačanja (ARP) kod tranzistorskih prijemnika



Sl. 9-42. Tranzistorsko međufrekventno pojačalo u kojemu su upotrebljeni bandfilteri za veću selektivnost. Automatska regulacija pojačanja djeluje samo na jedan od tranzistora



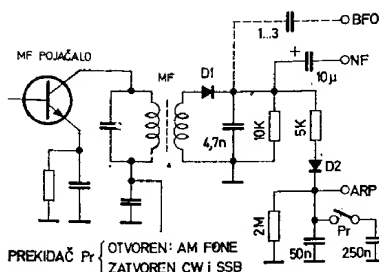
Sl. 9-43. Automatska regulacija pojačanja promjenom napona baze

ravao stvaranje pomoćnog napona za automatsku regulaciju pojačanja. Ipak, iza diodnog detektora nastaje neki napon koji, ako je vremenska konstanta RC-filtracije dovoljno velika, ovisi o prosječnoj jakosti signala. Za pravilan rad ARP smetao bi uključen VFO, jer bi se i njegov visokofrekventni napon ispravljao u diodi, sl. 9-44. Zato nećemo BFO priključiti na to mjesto (narisano je crticama!) već drugačije, najbolje na poseban produkt-detektor.

Kondenzator od 50 nF, na kojemu nastaje regulacijski napon, brzo se nabija preko diode D_2 i otpornika od 5 k Ω . Vremenska konstanta za nabijanje je mala ($0,005 \text{ M}\Omega \times 0,05 \mu\text{F} = 0,25 \text{ ms}$), iznosi samo 0,25 milisekundi. Pražnjenje je mnogo sporije ($2 \text{ M}\Omega \times 0,05 \mu\text{F} = 0,1 \text{ s}$) jer se kondenzator izbija preko 2 M Ω . To odgovara za prijem SSB-signal. Za telegrafiju, kod koje di-

jelovi znakova slijede sporijim tempom jedan za drugim, vremenske konstante moraju biti veće. To se postiže povećanjem kapaciteta: prekidanjem P_r treba samo dodati kondenzator od 250 nF. Kapacitet je, ukupno, šest puta veći. I vremenske konstante su šest puta duže: nabijanje traje otprilike 1,5 ms, a pražnjenje 0,6 s.

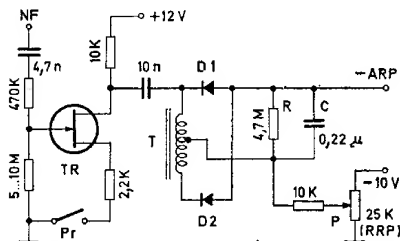
Pomoćni napon za ARP kod prijema telegrafije ili SSB-telefonije možemo postići i tako da ispravljamo već demodulirani niskofrekventni signal. Ovdje ćemo opisati samo jednu od brojnih mogućnosti. Niskofrekventni se signal, na sl. 9-45, najprije pojačava tranzistorom TR i onda vodi na transformator T. To može biti, npr. neki mali pobudni NF transformator (iz tranzistorskih prijemnika) s prenosom 1 : (1+1). Iskorištena je samo sekundarna zavojnica koja ima srednji odvojak. Primarna zavojnica (nije nacrtana)



Sl. 9-44. Ovako se može postići da napon za regulaciju pojačanja brzo nastaje i onda duže traje. Za prijem telegrafije su potrebne veće vremenske konstante nego za prijem SSB. Vidi tekst

ostaje neiskorištena. Male silicijeve diode, D_1 i D_2 , ispravljaju niskofrekventne struje i brzo nabiju kondenzator C . Otpornik R ima velik otpor pa se kondenzator polaganije prazni. Napon za ARP se tako održava, kažemo da »napon visik«, još neko vrijeme, što je važno za prijem telegrafije i SSB-signalu. Dodatni prednapon sa potencijometra P omogućuje i ručnu regulaciju (RRP) koja se kombinira sa ARP. Ako je prekidač Pr otvoren, preostaje samo ručna regulacija potencijetrom P .

Regulacijski napon je ovdje negativnog predznaka. Ukoliko nam treba pozitivan regulacijski napon, treba samo »okrenuti« diode i promijeniti prednapon na potencijetru P .



Sl. 9-45. Jednostavan tranzistorski sklop za postizanje »viseće« automatske regulacije pojačanja

UKLJUČIVANJE S-METRA

Način ocjenjivanja jakosti signala koji primamo i tzv. *S-jedinice* nastali su iz potrebe da radio-operator opiše kako prima stanicu s kojom je u vezi. To je u početku bila empirijska skala koja nije služila za mjerenje već za upoređivanje.

Kako je tehnika napredovala tako je i oprema amaterskih radio-stanica bivala bolja, pa se sve više javljala potreba da se jakost signala izrazi u nekoj mjeri, brojkama.

Danas se u mnogim prijemnicima nalaze električni mjerni instrumenti sa skalom na kojoj se mogu čitati jakosti signala u *S-jedinicama* od 1 do 9, kao i jači signali uz oznaku koliko su decibela (dB) jači od S-9.

Na tablici 24-1 navedena su značenja pojedinih *S-jedinica* na opisani način (str. 750).

Snaga signala koja se označuje sa S-9 pripada određenom visokofrekventnom naponu signala na antenskoj priključnici prijemnika. Uz ulaznu impedanciju od 50Ω taj napon je obično $100 \mu V$. Neki proizvođači postupaju drugačije. Tako su S-metri na prijemnicima firme »National Radio« bili udešeni da pokazuju S-9 uz ulazni napon od $50 \mu V$. Tako je bilo kod prijemnika »Hallicrafters« i »Drake«. Međutim, S-9 odgovara ulaznom naponu od $100 \mu V$ kod prijemnika »Swan«, »Collins« i kod drugih.

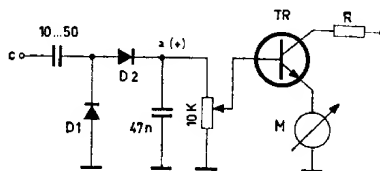
Bogato iskustvo radio-amatera je pokazalo da je za povećanje glasnoće signala za jednu S-jedinicu, u inače nepromijenjenim uvjetima, potrebno da se snaga predajnika početvorostruči. To znači da snaga signala mora za svaku S-jedinicu postati četiri puta veća. To odgovara podvostručenju visokofrekventnog napona kod povećanja ili polovici napona kod smanjenja za jednu S-jedinicu. Odatle slijedi također da se pojedini S-stupnjevi međusobno razlikuju upravo za 6 dB.

Budući da *ne postoje dva sasvim jednaka prijemnika*, skale na S-metrima bi morale biti baždarene za svaki pojedini prijemnik posebno. Ni u kojem slučaju skala ne bi mogla biti linearna, s podjednakim razmacima između pojedinih S-stupnjeva. Ako, međutim, pogledamo kako su načinjene skale S-metra na fabričkim prijemnicima, vidimo da se mnogi toga ne pridržavaju. Zato S-metar može pokazati samo koji je signal jači, a koji slabiji. To nije nikakva pouzdana mjera! Isto vrijedi i za onaj dio skale S-metra na kojemu čitamo vrijednosti iznad S-9 u decibelima. S-metri današnjih tvorničkih prijemnika redovito pokazuju previše, kako bi »dočarali« kupcu »veliku« osjetljivost. Lijepo ime *S-metar* ne zaslužuje, jer ništa ne mjeri. Bolje bi ga bilo nazivati »pokazivačem«, *indikatorom*.

Ipak, S-metar je i kao indikator jakosti signala korisna sprava! Nema razloga da ga ne ugradimo i u prijemnike koje smo sami gradili.

S-metarski sklop koji se može naknadno dodati svakom prijemniku je na sl. 9-46. Možemo ga priključiti na kraj međufrekventnog pojačala ili iza demodulatora, pa i negdje na pogodnu tačku u niskofrekventnom pojačalu. U posljednjem slučaju moramo paziti da niskofrekventna regulacija glasnoće ne bi djelovala na S-metar. Dioda su germanijeve. Priključni kondenzator može biti između 10 i 50 pF, ako signal uzimamo iz međufrekventnog dijela. Za niskofrekventne signale ovdje treba uzeti kondenzator od 0,1 do 2 μ F. Potencijometrom se odabere osjetljivost tako da najjači signali dovedu kazaljku mjernog instrumenta *M* (do 1 ili više mA) do kraja. Otpornik *R* u kolektorskom strujnom krugu štiti instrument od preterećenja. Ako je napon napajanja, recimo 10 V, a mjerni instrument »ide« do 1 mA, neka *R* bude 10 k Ω .

U tranzistorskim komunikacijskim prijemnicima može se S-me-



Sl. 9-46. S-metarski sklop koji se može dodati svakom tranzistorskom prijemniku, vidi tekst

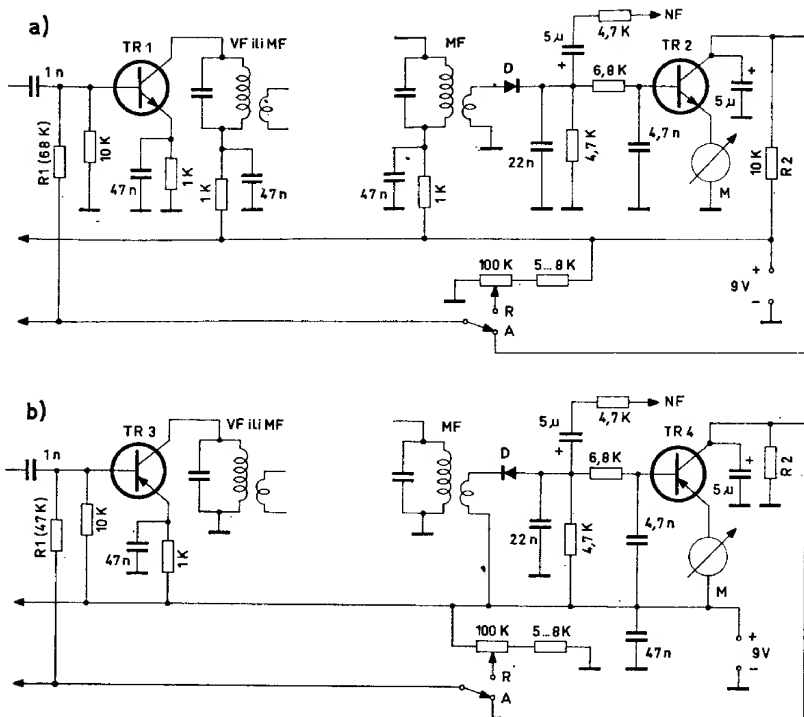
tar spojiti s posebnim tranzistorom koji, kao na sl. 9-47, istovremeno služi i za pojačanje djelovanja automatske regulacije. Napon za ARP najčešće se crpe iz diodnog demodulatora. U primjeru a) miliampermetar *M* služi kao S-metar. Tranzistor *TR*₂ pojačava napon za ARP i struju za S-metar. *TR*₁ je regulirani tranzistor u visokofrekventnom (VF) ili u međufrekventnom pojačalu (MF). Tranzistori su tipa N-P-N.

Isto to, samo s tranzistorima tipa P-N-P, vidimo na sl. 9-47b.

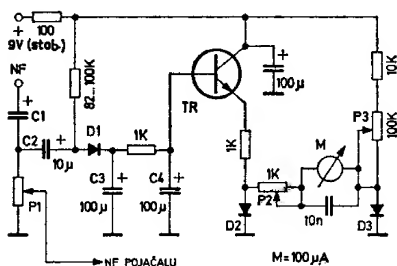
U oba primjera je uzemljen negativni pol izvora struje za napajanje. Po želji se može birati ili ručno (*R*) ili automatsko (*A*) reguliranje pojačanja. Ručna regulacija se postiže potencijometrom od 100 k Ω . I kod ručne i kod automatske regulacije smanjuje se jakost kolektorske struje reguliranih tranzistora. To je uvijek preporučljivo ako treba paziti da potrošak električne energije iz baterija ne bude prevelik.

Ne zaboravimo da S-metar treba čitati samo dok je uključena automatska regulacija pojačanja uz maksimalnu osjetljivost prijemnika.

S-jedinice omogućuju izvanredno velik opseg jakosti signala opisati u *logaritmičkoj mjeri*, što se teže ostvaruje miliampermetrom koji je u principu mjerilo linearnih promjena jakosti struje. Taj je nedostatak popravljen na S-metarskom sklopu, sl. 9-48. Potenciometar *P*₁ je onaj kojim se obično regulira glasnoća. Preko *C*₂ odvodi se NF signal. On dolazi na diodu *D*₁.



Sl. 9-47. Uključivanje S-metra u emitorski strujni krug tranzistora koji služi kao pojačalo za automatsku regulaciju pojačanja: a) za tranzistore tipa N-P-N; b) za tranzistore tipa P-N-P



Sl. 9-48. Napon za regulaciju pojačanja (ARP) dobije se iz niskih frekvencija, iza demodulatora (NF). Njih ispravlja dioda D_1 . Tranzistor Tr pojačava tako dobiveni napon, dok diode D_2 i D_3 svojim djelovanjima osiguravaju linearniju skalu u S-jedinicama na skali S-metra. Osjetljivost S-metra je veća kod manjih jakosti signala

Preko velikog otpornika (82 do 100 k Ω) dioda dobiva malen pred-napon, dovoljan da joj se poveća osjetljivost za vrlo slabe signale. Ispravljene NF struje nabijaju kondenzatore C_3 i C_4 . Tako postignuti napon »otvara« tranzistor TR . Diodama D_2 i D_3 postiže se da je pokazivanje instrumenta M u boljem skladu sa S-jedinicama, tj. sa prijemom kako ga čuje uho. P_3 je potencijometar za namještanje nule instrumenta. Potencijetrom P_2 određuje se osjetljivost S-metra tako da se kod najjačih signala postiže maksimalni otklon kazaljke.

Za amatere koji vole eksperimentirati bit će zanimljiv S-metar na sl. 9-49. Tranzistor TR_1 je nisko-frekventno pretpojačalo iz kojega se signal ispravlja silicijevom dio-

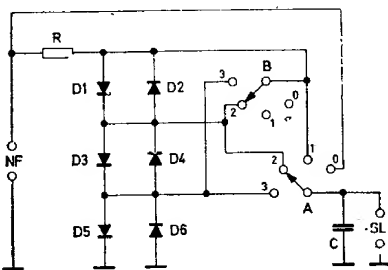
Osim ograničenja amplitude moguće je »utišati« prijemnik tako da mu se na pogodan način smanji osjetljivost za vrijeme trajanja svakog takvog impulsa. Impulsi su redovito tako kratkotrajni da to neće smetati prijemu.

Kad impulsna smetnja prolazi kroz prijemnik velike selektivnosti, bit će njezino trajanje produženo djelovanjem visokog Q -faktora titrajnih krugova. Prema tome je i borba protiv takvih smetnja teža, ako se ispred uređaja za njihovo otklanjanje nalaze stupnjevi s velikom selektivnošću.

Ograničenje amplitude

Jednostavno ograničenje amplitude signala i smetnji može se postići pomoću diodnog sklopa koji je prikazan na sl. 9-50. On se priključuje na sam izlaz prijemnika, između izlaznih priključnica (NF) i slušalice (SL).

Dvostrukim preklopnikom $A-B$ uključuje se paralelno sa slušalicama jedan par (položaj 3), dva (položaj 2) ili tri para (položaj 1) antiparalelno spojenih dioda. Stavimo li taj preklopnik u položaj 3, uključene su samo diode D_5 i D_6 . Dokle god je amplituda signala manja od 0,6 do 0,7 V, u slušalice dolazi signal bez oslabljenja budući da do tog napona diode ne propuštaju struju. Sve amplitude koje su veće od toga bit će ograničene na 0,7 V, bez obzira na to kakav smjer ima-



Sl. 9-50. Uklanjanje impulsnih smetnja diodama koje su spojene paralelno sa slušalicama. Opis u tekstu

ju. Jedna ih dioda, naime, propušta jednim, a druga drugim smjerom. Pri tom su ostale diode (D_1 do D_4) preklopnikom B kratko spojene i nemaju utjecaja na ono što se čuje.

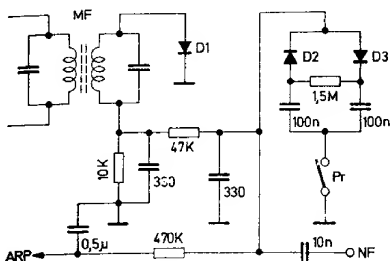
Kada su preklopnici u položaju 2, uključena su dva diodna para, D_3/D_4 i D_5/D_6 . Maksimalna amplituda može biti 1,4 V. Ako su uključene sve diode (preklopnici u položaju 1) amplituda može doseći 2,1 V. Važan je i serijski otpornik kojemu će vrijednost biti između 100 i 5000 Ω , već prema tome kolika je impedancija slušalice i niskofrekventnog izlaza NF . Vrijednost tog otpornika treba odrediti prema konkretnim prilikama tako da se postigne najbolje potiskivanje impulsnih smetnji. Ako preklopnik $A-B$ stavimo u položaj 0, uređaj za ograničavanje amplitude je isključen. Dioda (od D_1 do D_6) mogu biti bilo kakve manje silicijeve diode.

Takvi ograničavači (»limiteri«) mogu vrlo dobro poslužiti kod prijema svih vrsta signala, ali najbolje za prijem telegrafije. Tada je prijem u slušalicama vrlo ugodan, jer su i svi telegrafski signali podjednake glasnoće. Impulsne smetnje ne mogu »zaglušiti« operatora ni onda ako slušalice stavi na uši.

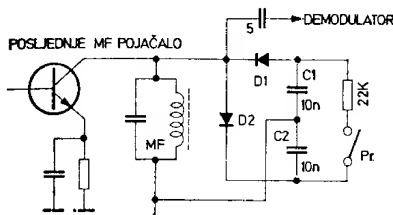
Uklanjanje impulsnih smetnja u demodulatoru i u međufrekventnom pojačalu

U sam prijemnik mogu se uređaji za ograničenje amplitude staviti na više mjesta. Najbolje je da se to načini ondje, gdje je signal još razmjerno slab.

Na sl. 9-51 to je načinjeno iza diodnog demodulatora. Kod NF uzima se demodulirani niskofrekventni signal, kod ARP dobiva se napon za automatsku regulaciju pojačanja, dok je prekidačem Pr moguće uključiti ili isključiti prigušivač impulsnih smetnji. Kad je Pr uključen, diode D_2 i D_3 , ovisno o jakosti signala, nabiju kondenzatore na neki određeni potencijal, što



Sl. 9-51. Sklop za uklanjanje impulsnih smetnja diodama D_2 i D_3 ima demodulatora



Sl. 5-52. Diodama se mogu impulsne smetnje otkloniti i iza međufrekventnog pojačala, prije demodulacije. Izoblješnja su manja nego onda kad sličan sklop djeluje na NF signal

nema daljnjeg utjecaja na NF izlaz. Ako se pojavi impuls od neke smetnje, naboj na kondenzatorima ga ne može dovoljno brzo slijediti, diode taj impuls propuste i tako, na kratak moment, spriječie da im-

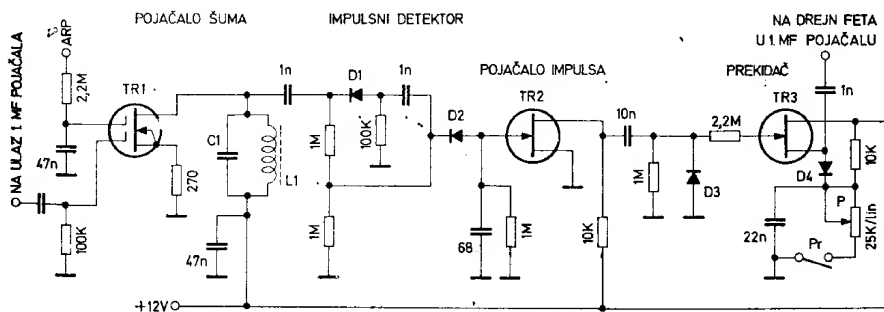
puls stigne u niskofrekventno pojačalo, priključeno na NF. Kod telegrafije bit će znakovi također malo »odrezani«, ali to prijemu redovito ne smeta.

Sklop na sl. 9-52 po svojoj funkciji je sličan onome na sl. 9-51. Razlika je u tome da je ovdje djelovanje impulsa na diode iskorišteno na kraju međufrekventnog pojačala, prije demodulacije. Izobličenja su manja nego onda kad takav »klijper«¹ djeluje na niske frekvencije. Ukoliko bi na izlazu međufrekventnog pojačala bio bandfilter, diodni bi se sklop morao priključiti na krajeve drugog titrajnog kruga. Pritom bi prvi titrajni krug bandfiltera bio, normalno, u kolektorskom strujnom krugu posljednjeg međufrekventnog tranzistora.

U oba ova primjera mogle bi diode biti ili germanijeve ili silici-jeve. Glavno je da im vlastiti *kapa-citeti budu što manji*. To moraju, prema tome, biti visokofrekventne diode.

Još bolje prigušivanje impulsnih smetnja može se očekivati ako se pobrinemo da impulsne smetnje odvedemo prije nego signal dođe do međufrekventnog kvarcovog filtera. Takav se priključak izvodi, prema sl. 9-53, odmah iza stupnja za miješanje na ulazu prvog međufrekventnog pojačanja.

Tranzistor TR_1 (sl. 9-53) je tzv. pojačalo šuma. Iza njega slijedi



diodni impulsni detektor i pojačalo impulsa (TR_2). Tranzistor TR_3 na svaki impuls reagira tako da mu se vodljivost naglo poveća. Uz pretpostavku da u prvom stupnju međufrekventnog pojačanja u prijemniku imamo MOSFET, treba izlaz ovakvog uređaja spojiti na Drejn-elektrodu. Budući da TR_3 djeluje kao prekidač, na kratak moment će se smanjiti međufrekventni signal, toliko da se impuls više ne može čuti. Potenciometrom P možemo odabrati intenzitet toga djelovanja. Uređaj »briše« impulsne smetnje. Otuda mu i ime »Noise Blanker«: dok traje impulsna smetnja međufrekventno pojačalo ostaje »prazno« (blank), bez signala. To razumljivosti prijema ništa ne smeta jer impulsi vrlo kratko traju.

NISKOFREKVENTNO POJAČALO U PRIJEMNIKU

Niskofrekventno pojačalo u prijemniku je potrebno da se pojača signal dobiven demodulacijom.

Konkretna primjere niskofrekventnih pojačala naći ćemo uz opise pojedinih kompletnih prijemnika kao i u posebnom poglavlju ove knjige.

SAMOGRADNJA. DA ILI NE?

Prije 60 godina nisu radio-amateri za svoje potrebe mogli kupiti gotove prijemnike i ostale uređaje, jer takvih nije bilo u trgovinama. Industrijski i amaterski radiokonstruktor bio je često ista osoba. Industrija i amateri su se služili podjednakim metodama rada. Radio-tehnika je u ono doba tek krenula prvim znatnijim koracima. Prije 50 godina je već bilo na tržištu razmjerno dobrih prijemnika i za amaterske svrhe, ali oni su bili za najveći broj radio-amatera sasvim nedostiživi zbog svoje visoke cijene.

Amateri su najvećim dijelom sami gradili svoje uređaje, što im je donosilo dvostruku korist. Ponaj-

prije se samogradnjom dolazilo jeftinije do potrebne opreme, a onda — što je daleko veći dobitak — mnogo se pri tome moglo naučiti. Iz redova radio-amatera potekli su mnogi radiotehnički stručnjaci!

Do današnjih dana je radio-tehnika izvanredno napredovala. Radio-uređaji općenito, a prijemnici napose, postali su daleko bolji, ali i mnogo kompliciraniji. Pojavio se i veći broj specijaliziranih tvornica koje uglavnom proizvode radio-uređaje namijenjene amaterima. One — u vlastitom interesu — koristeći se obilnom reklamom, uvjeravaju radio-amatere kako je potrebno imati uvijek najnoviji model da bi radio-stanica imala savremen izgled. To izlazi otprilike na ovo: »Pripremite samo uvijek ponovno dosta novaca, jer tvornica dobro pozna radio-tehniku. Vi samo vrtite dugmad i... budite radio-amateri.«

Tehnički zainteresirani radio-amater nije se nikad mogao zadovoljiti samo vrtnjom dugmadi. On je uvijek želio znati što se nalazi »u kutiji«, što se događa »sa one strane« prednje ploče uređaja...

Radio-amateru je važno da bude dobar operator, ali jednako je važno poznavanje radio-tehnike. Radio-tehnika ga je uvijek privlačila, baš kao i uspostavljanje bežičnih kontakata putem te iste tehnike.

Ima li i danas samogradnja radio-uređaja smisla? Da li se samogradnja i danas »isplati«?

Odgovor na ova pitanja glasi, bez ikakve sumnje: *Da, ima smisla i isplati se.*

Ima smisla, jer se nikakva tehnika ne može naučiti samo iz knjiga. Potrebne su knjige, ali bezuvjetno je potreban i *praktički rad* i stjecanje vlastitih tehničkih iskustava. To je dobro poznato i nema potrebe da se ovdje dokazuje. Život je to dokazao.

I isplati se. To ne znači da radio-amater može jeftinije sagraditi radio-uređaj koji bi imao sva svojstva koja se mogu naći kod savremenih tvornički proizvedenih, često

vrlo kompleksno načinjenih proizvoda. Ipak, samogradnjom se može i danas *vrlo mnogo naučiti*. To je prva korist. Drugo: radio-amateru često nije ni potreban neki kompleksni uređaj. Ono *zadovoljstvo* koje amater ima kada mu uređaj, koji je sam gradio, konačno »oživi« i kada s njime održava radio-veze sa amaterima »na drugom kraju svijeta«, ne može se postići nikakvim kupljenim aparatima.

Kod pristupanja samogradnji prijemnika, kao i ostalih radio-uređaja, ne valja započeti s kompliciranim i velikim, već s jednostavnim i malim. Zato ćemo i ovdje ići tim redom. U nizu shema iskušanih prijemnika moći će većina naših radio-amatera i tehničara, od početnika do naprednijih konstruktora, naći ono što im odgovara, prema znanju i iskustvu kojima raspolažu i prema finansijskim sredstvima koja mogu uložiti.

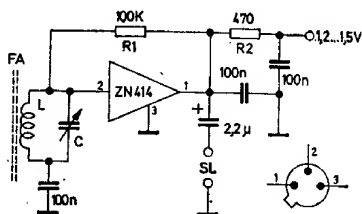
Samo vlastitim konstruktorskim radom, eksperimentima i proučavanjem možemo stvarno upoznati radio-prijemnik, taj tako raširen aparat za koji, pod imenom »radio«, danas znade svako dijete. Radio-prijemnik je jedan od najvažnijih dijelova opreme za potrebe telekomunikacija jer, kako kažu radio-amateri, »*bez prijemnika nema radio-veze!*«

IZBOR SHEMA ZA PRIJEMNIKE

Nekoliko jednostavnijih prijemnika

Detektorski prijemnici, koji su bili shematski prikazani na sl. 9-4, zanimljiv su i dobar početni rad, osobito za najmlađe. Lokalnu radiofonijsku stanicu može se s takvim prijemnikom dobro čuti u slušalicama. U radio-klubovima ili u radionicama Narodne tehnike uvijek se može naći netko da početniku pomogne načiniti prve korake u radio-tehniku.

Prijemnik na sl. 9-54 po svojoj shemi sigurno spada među najjed-

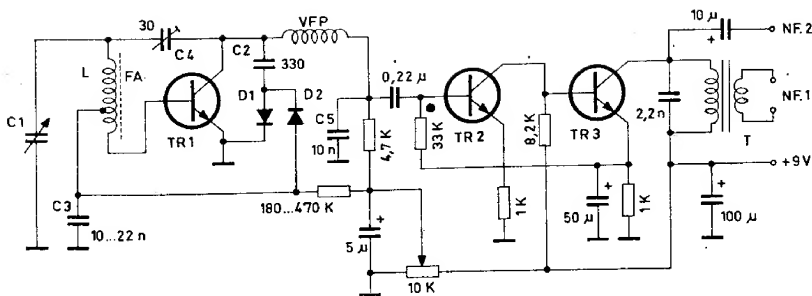


Sl. 9-54. Shema »mini-prijemnika« za srednje valove sa integriranim sklopom ZN414. Opis u tekstu

nostavnije. To je ipak jedan od »najmodernijih« i najboljih prijemnika svoje klase. Na prvi pogled on ima izgled prijemnika samo s jednim tranzistorom, ali to nije tako. Iako po svom vanjskom obliku i po broju priključaka odgovara najobičnijim tranzistorima, oznaka ZN414 pripada specijalnom integriranom sklopu (»Ferranti«). U njemu je 10 tranzistora, 4 kondenzatora i 15 otpornika, sve na malenoj silicijevoj pločici, ugrađenoj u tzv. »TO-18« kućištu za tranzistore. Uz pogonski napon od 1,1 do 1,8 V troši struju od samo 1 mA. Može raditi na svim frekvencijama između 200 kHz do 5 MHz. Pojačanje doseže 70 dB.

Mala feritna antena je dovoljna za dobar prijem srednjevalnih radiofonijskih stanica. Selektivnost je neočekivano dobra. Ulazna impedancija je vrlo visoka (oko 1,5 MΩ) pa jedini titrajni krug gotovo uopće nije opterećen. Ako zavojnica feritne antene L ima Q -faktor od 75 do 100, selektivnost doseže oko 12,5 kHz. Kod jačih stanica se osjetljivost smanjuje. Normalno ona iznosi oko 100 mikrovolt za izlazni napon na visokomslušalicama od 30 mV. Postoji, dakle, i neka vrsta automatske regulacije osjetljivosti (ARP). Na njenu se funkciju može utjecati otpornikom R_2 . Otpornikom R_1 osigurava pravilnu, unutrašnju raspodjelu svih radnih tačaka.

Umjesto slušalica stavili smo logaritamski potencijometar za regula-



Sl. 9-55. Tranzistorski refleksi prijemnik za srednje valove

ciju glasnoće (5 kΩ) i priključili niskofrekventno pojačalo. Reprodukcijska na zvučnik bila je vrlo čista.

Ovaj primjer donosimo više kao opis mogućnosti današnje tehnike nego kao preporuku za samogradnju. Ako ipak uspijete nabaviti taj britanski integrirani sklop, svakako sagradite taj prijemnik. Bit ćete jednako iznenađeni, kao što smo i mi bili.

Tehnički je zanimljiv i prijemnik, sl. 9-55. Prvi tranzistor je dva puta iskorišten, zahvaljujući primjeni refleksnog principa. Ovakvo dvostruko iskorištenje u refleksnim spojevima postiže se redovito na taj način da isti tranzistor najprije služi kao visokofrekventno pojačalo. Posebni demodulator je izvan toga stupnja. Demodulirani signal vodi se ponovno u predašnji stupanj koji služi još i kao niskofrekventno pojačalo. Ovdje ćemo pokazati primjenu tog principa.

Zavojnica L namotana je na feritni antenski štapić. Ona ima oko 90 zavoja izolirane bakrene žice (0,3 do 0,5 mm). Na zavojnici je odvojak iza 10 do 12 zavoja. Kondenzator C_1 je promjenljiv. Njegov maksimalan kapacitet je oko 300 pF. Ovakav titrajni krug obuhvaća srednjevno područje. Tranzistor TR_1 služi najprije kao visokofrekventno pojačalo sa povratnom vezom (preko C_4). Pojačane visokofrekventne struje odvođene se sa kolektora preko kondenzatora C_2 na

diode D_1 i D_2 . Ove diode su spojene kao u ispravljačima za udvostručenje napona pa je efikasnost takvog demodulatora vrlo dobra. Na kondenzatoru C_3 javlja se demodulirani niskofrekventni signal. Budući da je C_3 preko manjeg dijela zavojnice L spojen s bazom prvog tranzistora taj će niskofrekventni signal biti pojačan istim ovim tranzistorom TR_1 . Slikovito se kaže da je signal poslije demodulacije »refleksijom« vraćen u isto pojačalo koje služi za dvije svrhe.

Stupanj povratne veze regulira se pomoću potenciometra od 10 kΩ, pa kapacitet trimera C_4 treba odmjeriti tako da povratna veza dovodi do pobuđivanja oscilacije tek onda kada je kolektorski napon tranzistora TR_1 barem 2 do 3 V. Pri tome treba jakost kolektorske struje u prvom stupnju da bude 1 do 2 mA.

Kod prijema jakih signala lokalne stanice smanjuje se kolektorska struja tranzistora TR_1 što dovodi do smanjenja povratne veze i ostvaruje neku vrstu automatske regulacije pojačanja (ARP).

Preko kondenzatora od 0,22 μF može se priključiti bilo kakvo niskofrekventno pojačalo.

Tranzistorsko niskofrekventno pojačalo, koje na sl. 9-55 ima dva tranzistora TR_2 i TR_3 nije standardno ali se odlikuje vrlo velikom stabilnošću.

Pretpostavimo, npr. da kolektorska struja tranzistora TR_2 poraste,

povećat će se i pad napona na otporniku od 8,2 k Ω . Tada se i napon baze tranzistora TR_2 smanji. Usljed toga smanji se i njegova kolektorska i emitorska struja. Pad napona na emitorskom otporniku tranzistora TR_2 (1 k Ω , premošten elektrolitskim kondenzatorom od 50 μ F) također se smanji. Budući da je otpornik koji napaja bazu tranzistora TR_2 (33 k Ω) priključen na emiter tranzistora TR_2 , smanjit će se jakost struje koja teče preko baze tranzistora TR_2 . Tako će biti spriječeno ono povećanje njegove kolektorske struje koje smo na početku pretpostavili. Ovo osigurava stabilnost radne tačke. Ukoliko bi kolektorska struja tranzistora TR_2 zbog nekih vanjskih utjecaja trebala da postane manja, opisani utjecaji i njihova povratna djelovanja događaju se obrnutim slijedom, sprječavajući i takvu promjenu radne tačke.

Na izlaz koji je označen sa NF_1 mogu se priključiti niskoomske slušalice. Pri tome transformator T može biti neki mali izlazni transformator za tranzistorska niskofrekventna pojačala. Možemo ga i sami namotati, ako se poslužimo nekom malom transformatorskom jezgrom koja ima presjek barem 0,5 cm². Primarna, kolektorska zavojnica u tom slučaju ima 500 do 700 zavoja lakiranom bakrenom žicom debljine 0,1 mm. Sekundarno treba oko 85 zavoja žice 0,15 mm da možemo upotrebiti običnu minijaturnu tran-

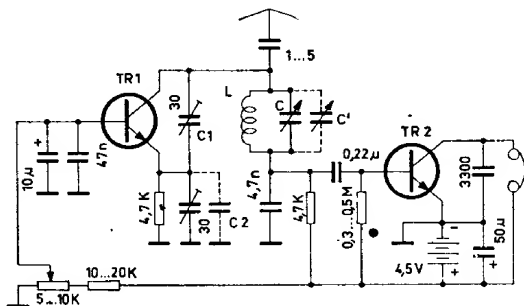
zistorsku slušalicu, impedancije oko 8 Ω .

Predviđen je još i niskofrekventni izlaz NF_2 za priključak visokoomskih slušalica.

Tranzistorski prijemnik za sve kratke valove

Prijemnik za sve kratke valove (3 do 30 MHz) u kojemu mogu služiti bilo kakva dva silicijeva planarna tranzistora (N-P-N) shematski je prikazan na sl. 9-56. On se sastoji od dva stupnja. Prvi je audionski, a drugi je niskofrekventno pojačalo koje je dovoljno za prijem na slušalice.

Tranzistorski audion, kakav je prikazan na toj shemi, sjeća na tzv. »ultra-audion« koji se nekada upotrebljavao u vezi sa elektronskim cijevima. Ulazni titrajni krug $L/C/C'$ nalazi se u kolektorskom strujnom krugu prvog tranzistora TR_1 . Visokofrekventno pojačanje signala je osigurano povratnom vezom, ostvarenom pomoću kapacitivnog djelitelja C_1/C_2 . Kondenzator C_1 je spojen između kolektora i emitera, dok je baza »uzemljena« i za visoku (47 nF) i za nisku frekvenciju (10 μ F). Kao C_1 može dobro poslužiti trimer sa maksimalnim kapacitetom od 25 do 30 pF. Kondenzator C_2 koji služi za postizavanje »mekane« povratne veze, može također biti jednak trimerski kondenzator uz dodatak, ako je potrebno, nekog fiksnog



Sl. 9-56. Kratkovalni prijemnik O-V-1 s dva silicijeva tranzistora (BC 107)

kondenzatora (10 do 50 pF). Kapacitivni razdjelnik C_1/C_2 treba namjestiti na najpovoljniju vrijednost, tj. tako da povratna veza optimalno funkcioniра. Pri tome uz povećanje vrijednosti kapaciteta C_1 postaje povratna veza jača. Nasuprot tome *povećanje* kapaciteta C_2 *umanjuje* povratnu vezu. Za regulaciju povratne veze služi potencijometar (5 do 10 k Ω). S njim u seriju spojen je otpornik od 10 do 20 k Ω .

Nije potrebna nikakva posebna zavojnica za povratnu vezu, što olakšava namatanje zavojnica, kao i njihovu međusobnu zamjenu pri promjeni valnog područja koje želimo primati (vidi tablicu 9-4). Djelovanje povratne veze je redovito vrlo dobro. Ona se za prijem radiofonije (AM) mora namjestiti tik pred pobuđivanje titraja. Za prijem telegrafije (CW), kao i za SSB-telefoniju, povratnu vezu treba upravo toliko pojačati da audion oscilira, kao i kod svakog drugog sličnog prijemnika.

U titrajnom krugu audiona možemo imati samo jedan promjenljivi kondenzator C . Njegov maksimalni kapacitet neka ne bude veći od 50 do 100 pF. Ako želimo da neki uži opseg frekvencija razvučemo možemo paralelno s njime dodati kondenzator C' s maksimalnim kapacitetom od 10 do 30 pF. U ovom

slučaju će nam veći kondenzator služiti da frekvenciju audiona dovedemo u blizinu onih frekvencija koje nas posebno interesiraju (npr. u neki amaterski opseg). S promjenljivim kondenzatorom manjeg kapaciteta moći ćemo onda lako birati stanice.

Demodulirani signal se iz kolektorskog strujnog kruga prvog tranzistora (TR_1) odvodi preko kondenzatora (0,22 μ F ili više) na bazu drugog tranzistora (TR_2). Radnu tačku za niskofrekventno pojačalo određuje otpornik od 0,3 do 0,5 M Ω , u strujnom krugu baze tranzistora TR_2 . Zbog visokog strujnog pojačanja silicijevih planarnih tranzistora tu je, kako vidimo, relativno velika vrijednost otpora i treba je odabrati tako da na priključenim slušalicama bude pad napona jednak polovici pogonskog napona. Ukoliko kao izvor pogonske energije služi džepna plosnata baterija od 4,5 V, onda će taj uvjet biti ispunjen uz jakost kolektorske struje tranzistora TR_2 do 0,5 mA, za otpor slušalica oko 4000 Ω . Ako je jakost kolektorske struje veća, treba je smanjiti tako da se u strujnom krugu baze tranzistora TR_2 stavi otpornik veće vrijednosti. Ako je kolektorska struja preslaba, možemo je pojačati smanjivanjem vrijednosti toga otpornika.

Tablica 9-4. Zavojnice za kratkovalne prijemnike tipa O-V-1 (vidi sl. 9-56)

Promjenljivi kondenzatori od 100 i od 15 pF. Zavojnice su namotane na papirnatom valjku promjera 25 mm. Žica je bakrena, izolirana lakom (CuL).			
Prijemno područje	Broj zavoja	Dužina zavojnice	Debljina žica
2,9 do 7 MHz	35	26 mm	0,5 mm
6,9 do 12 „	16	13 „	0,5 „
11 do 20 „	7	8 „	0,5 „
18 do 32 „	4	8 „	1 „

Napomena: Navedeni brojevi zavoja su približni. Ovisno o načinu gradnje oni mogu od slučaja do slučaja biti nešto veći ili nešto manji.

Potrošak struje za oba tranzistora u ovom prijemniku je manji od 1 mA, pa će baterija vrlo dugo trajati.

Sastavni dijelovi moraju biti razmješteni tako da su svi međusobni spojevi što kraći. Unatoč svoje jednostavnosti prijemnik je vrlo osjetljiv. Ako se poslužimo dobrom vanjskom antenom, prijem u slušalicama ugodne je glasnoće. Antenu treba kapacitivno spojiti (preko 1 do 5 pF) na »vrući« kraj titrajnog kruga, kako je nacrtano. Prijemnik jednako dobro radi na svim kratkovalnim frekvencijama. On može primati i srednji val ako stavimo zavojnicu L potrebnog induktiviteta.

Tablica 9-4 daje podatke za montanje kratkovalnih zavojnica.

Prijemnik za opseg 3,5 MHz

Prijemnik za kratkovalni amaterski opseg od 3,5 do 4 MHz moći će i početnik sagraditi prema shemi na sl. 9-57. Shemu smo, uz manje izmjene, preuzeli od DK3FQ. Upotrijebljena su samo dva tranzistora BF 173 (ili BF 273) i BC 108 (ili oba tranzistora tipa BC 107). Prvi stupanj je zapravo poznati, stabilni Clapp-ov (Klapov) oscilator, preuređen za demodulaciju sa promjenljivom povratnom vezom. Ova se može potencijetrom P dovesti na najpovoljniju mjeru. Zavojnica L_2 ima oko 70 zavoja lakirane bakrene žice, debele 0,2 mm, na tijelu promjera 6 do 7 mm, sa jezgriцом od VF željeza. Preko nje treba namotati zavojnicu L_1 sa 15 zavoja jednake žice. Promjenljivim kondenzatorom od 22 pF (paralelno vezani statori kondenzatora 2×11 pF) upravo se može obuhvatiti cijeli 80-metarski opseg.

Ako se umjesto zavojnice L_2 priključi neka okvirna antena ili ako se L_2 namota na antenski feritni štap (iskušati broj zavoja!), onda takav prijemnik može poslužiti i u tzv. »lovu na lisicu«, tj. pri traženju skrivene radiostanice.

Osim prijema AM-signalâ, moguće je primati i telegrafiju (CW), kao i SSB-sigñale (uz veoma fini prenos za okretanje kondenzatora od 22 pF).

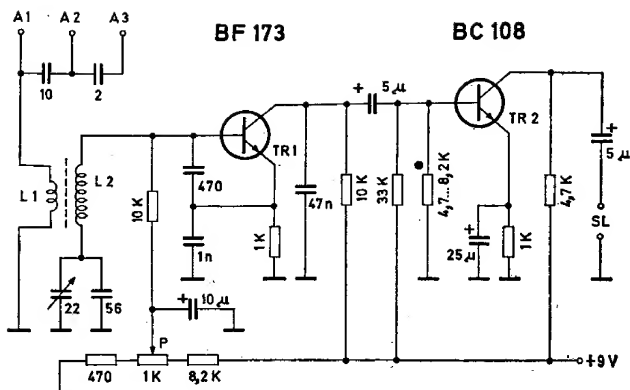
S dobrim visoko-omskim slušalicama je prijem ovim jednostavnim prijemnikom ugodno glasan. Stabilnost mu je dobra za prijem telegrafije, ali i SSB-sigñali mogu se primati, ako smo za okretanje promjenljivog kondenzatora predvidjeli neki finiji pogon.

Kao antena može poslužiti komad žice koji je razapet u što je moguće većoj visini. Dužina neka bude barem 20 metara. Da li ćemo antenu priključiti na A_1 , A_2 ili na A_3 , to treba utvrditi pokusom i antenu priključiti tako da prijem bude najbolji, dovoljno glasan i bez prevelikog miješanja pojedinih sigñala.

Kad su već stečena prva iskustva s tako jednostavnim prijemnikom, pojavit će se želja za »dotjerivanjem« i »modernizacijom«. Prva želja bit će povećanje glasnoće. Samim povećanjem napona za napajanje od 9 V na 12 V ne postiže se ništa osobito. Potreban je veći zahvat.

Jače niskofrekventno pojačalo može tu želju zadovoljiti, osobito ako se poslužimo *integriranim sklopom* IL741, prema sl. 9-58. U tu svrhu mora se upotrebiti i potencijometar P_2 za regulaciju glasnoće, da ne bi dolazilo do izobličenja kod jaćih sigñala. Otpornici R_1 i R_2 raspolovljuju napon napajanja i podižu potencijal na neinvertirajućem ulazu (br. 3) tako da se priključak br. 4 može držati na potencijalu nula, a na priključak br. 7 dovesti puni napon za napajanje. Inače su potrebna dva napona, jedan pozitivan i jedan negativan. Ovdje je to izbjegnuto, ali niskofrekventni se sigñal u takvom slučaju mora dovesti preko kondenzatora (C_7) i odvesti također preko kondenzatora (C_{10}).

Pojaćanje ovisi o omjeru otpora R_6/R_7 i ovdje je ono vrlo veliko. Ako ga želimo smanjiti možemo



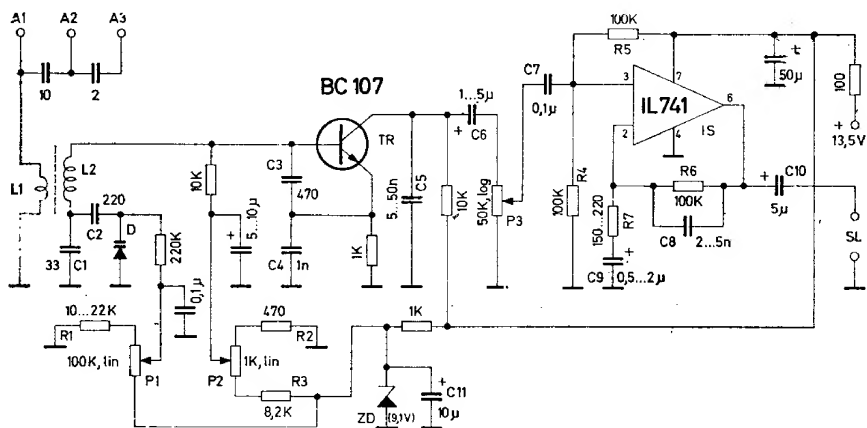
Sl. 9-57. Tranzistorski prijemnik za 80-metarski opseg

kao R_7 staviti i 1 k Ω . Pojaćanje će još uvijek biti oko 100 puta! Kondenzator C_8 utjeće na reprodukciju smanjujući pojaćanje najviših frekvencija i šumova. Slušalice opet ostaju iste, visokoomske. Ako smo drugi tranzistor sa sheme na sl. 9-57 zamijenili niskofrekventnim pojaćalom sa IL741, prijem će biti mnogo glasniji.

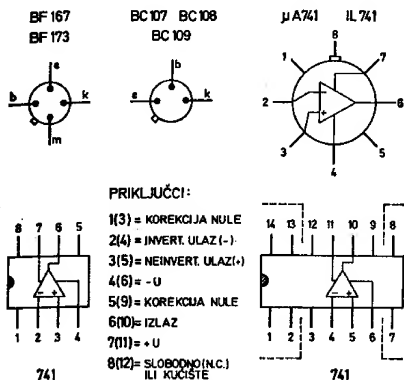
Integrirani sklop IL741 opisan je u 5. poglavlju ove knjige. Ima ga i s drukćijim oznakama, ali sve one sadrže iste brojke »741«. On

dolazi u različitim kućistima, koja su sva nacrtana na sl. 9-59. Okruglo, metalno kućiste ima osam priključaka, baš kao i preostala dva u DIL-8 i u DIL-14 (DIL = Dual in Line, tj. s priključcima u dva niza). Višak od 6 priključaka kod kućista DIL-14 nije iskorišten. Numeracija priključaka je označena tim redom uz uvjet da se na kućiste gleda s gornje strane.

Na sl. 9-59 su i pogledi s donje strane na kućista tranzistora BF 173/BF 167, kao i tranzistora BC107/



Sl. 9-58. »Modernija« varijanta prijemnika koji je sličan onome na sl. 9-57. Razlika je u tome da se ovdje titrajni krug ugađa varikap-diodom D i da je u NF pojaćalu integrirani sklop IL741. Vidi tekst



Sl. 9-59. Raspored priključaka za tranzistore u prijemniku prema sl. 9-57 i sl. 9-58; pogled s donje strane tranzistora. Integrirano operacijsko pojačalo IL 741 (ili μA 741 i slični s brojem 741) dolaze u tri različita kućišta. Nožice za priključke numerirane su od 1 do 8 (za metalno ili za DIL-8 kućište). Numeracija vrijedi ako se gleda na gornju stranu integriranog sklopa. U popisu priključaka, brojeke u zagradama se odnose na kućišta DIL-14. I tu je zapravo iskorišćeno samo osam priključnica

/BC108/BC109. Izvodi pojedinih elektroda nisu isti kod te dvije vrste i na to treba pri gradnji prijemnika paziti.

Hoćemo li prvi stupanj prijemnika graditi s tranzistorom BF173 ili BF167, ili ćemo se odlučiti za neki drugi, to nema velikog utjecaja na prijem u 80-metarskom opsegu (3,5 MHz). Prvi stupanj prijemnika na sl. 9-58 može imati bilo koji od tih ili njima sličan tranzistor. Ta shema sadrži i neke važnije preinake.

Tu su dva potencijometra. P_2 služi za regulaciju povratne veze. Potencijometar P_1 mijenja zaporni prednapon za varikap-diodu D koja zamjenjuje promjenljivi kondenzator. Da bi prijem bio dovoljno stabilan, potrebno je da taj prednapon na diodi D bude neovisan o naponu

napajanja. Ako je ovaj približno 13,5 V (tri plosnate džepne baterije u seriji!) može se za stabilizaciju diodnog prednapona upotrebiti Zenerova dioda ZD za napon od 9,1 V. Stanice koje želimo slušati odabiremo potencijometrom P_1 . To mora biti vrlo dobar potencijometar sa sigurnim kontaktom. I njega treba okretati pomoću nekog finog prenosa, a ne običnim dugmetom.

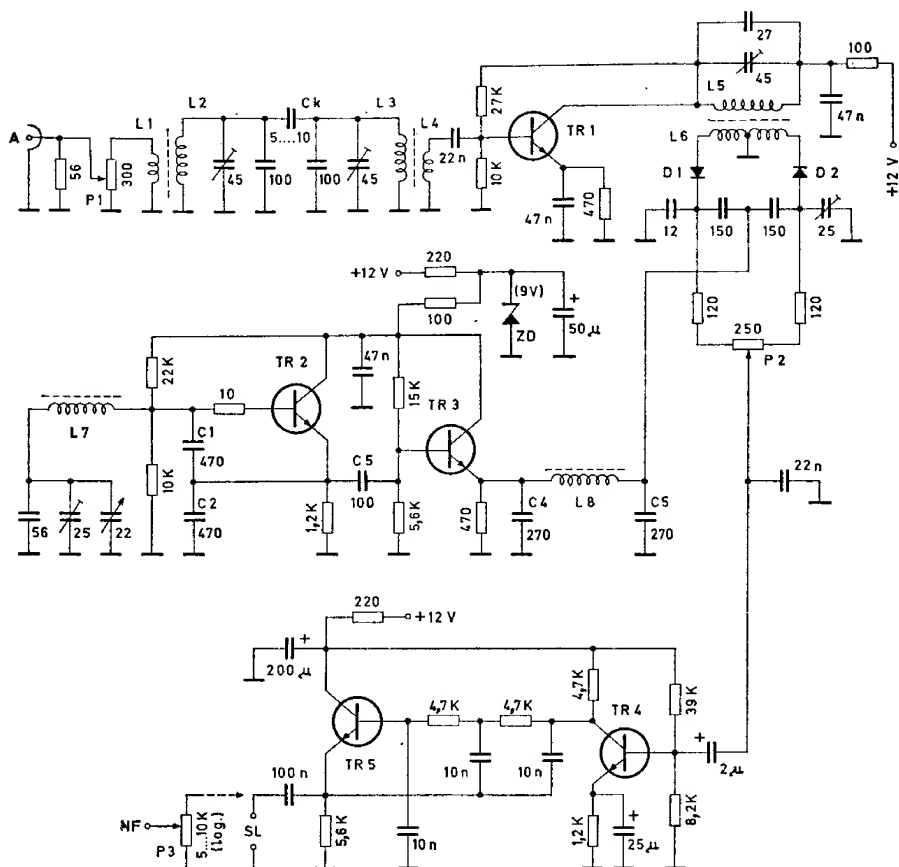
PRIJEMNICI S DIREKTNOM KONVERZIJOM

Prijemnik s direktnom konverzijom za 80-metarsko amatersko valno područje sa pet tranzistora

U novije vrijeme sve je više prijemnika s direktnom konverzijom. Oni su donekle slični superheterodinima jer imaju stupanj za miješanje i oscilator promjenljive frekvencije. Taj oscilator radi na prijemnoj frekvenciji tako da se kao rezultat miješanja direktno demodulira niskofrekventni signal. Shema je na sl. 9-60. Izgled prijemnika vidimo na sl. 9-61.

Antena se priključuje koaksijalnim kabelom na priključnici A. Potencijometrom P_1 treba ulazni signal oslabiti na najnužniju mjeru za dobar i nesmetan prijem. Tranzistor TR_1 (BF 167) služi kao VF-pojačalo. Ispred njega je fiksno ugođeni bandfilter za opseg od 3,5 do 3,8 MHz. Zavojnice su namotane na prstenaste jezgre od ferita (»Iskra«, Kranj), pa su titrajni krugovi dovoljno širokopojasni. Na izlazni titrajni krug VF pojačala (L_5 i L_6 su također na jednakoj prstenastoj jezgri) priključen je stupanj za miješanje, tj. produkt-detektor (vidi i u poglavlju o SSB-tehnici). Primer od 25 pF i potencijometar služe za simetriranje detektora u svrhu potiskivanja neželjenih signala.

Gradnji oscilatora mora se posvetiti osobita pažnja. Kondenzatori C_1 i C_2 su tipa »stirofleks«. Oni ima-

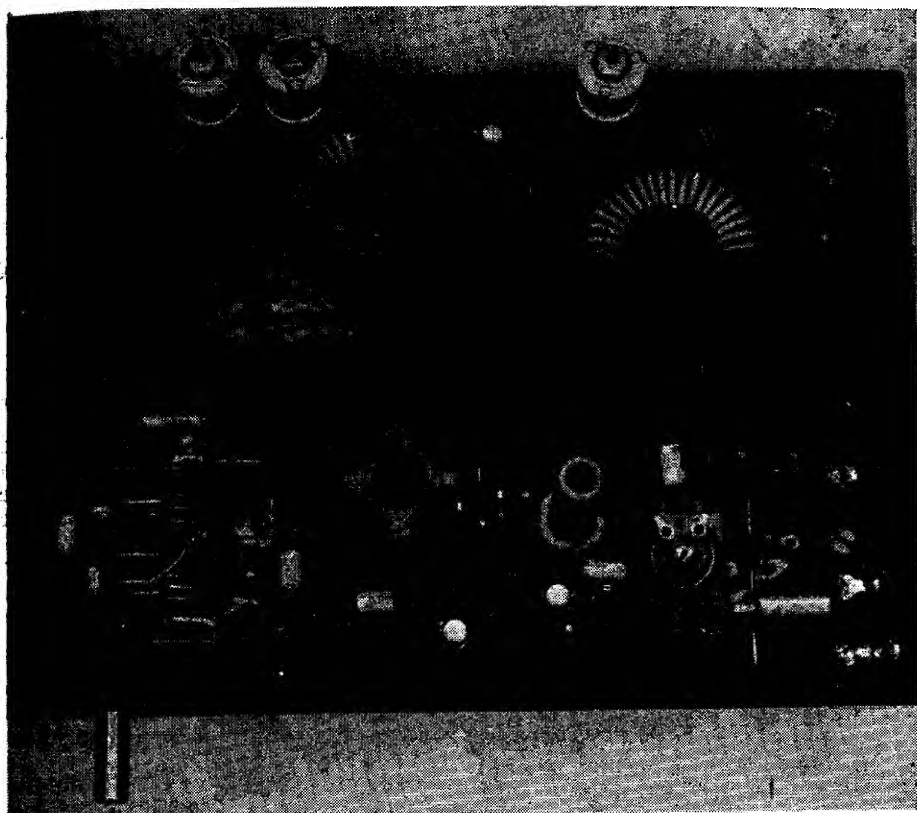


Sl. 9-60. Shema tranzistorskog kratkovalnog prijemnika sa direktnom konverzijom

ju mali, negativan temperaturni koeficijent, pa se postiže dobra stabilizacija bez drugih dodataka. Pogonski napon oscilatora stabiliziran je posebnom Zenerovom diodom ZD. Tranzistor TR_3 ima zadatak da rastereti oscilator, što je daljnji doprinos njegovoj stabilnosti. Da ne bi do produkt-detektora došle oscilatorove harmoničke frekvencije (osobito *druga* koja bi mogla proizročiti demodulaciju neželjenih signala iz 7-MHz radiofonijskog opsega!), na izlazu iz oscilatorskog sklopa uključen je filter, sastavljen

od C_4 , L_8 i C_5 . On mora resonirati oko 3,65 MHz. Resonancija mu je široka pa zadovoljava u čitavom opsegu.

Gotov, demodulirani signal, redovito CW ili SSB, najprije prolaze kroz aktivni filter, sa TR_4 i TR_5 . On određuje selektivnost prijemnika. Kod NF se priključuju slušalice, ukoliko se zadovoljavamo s njima. Za glasniju reprodukciju, na zvučnik, potrebno je iza aktivnog NF filtera priključiti niskofrekventno pojačalo.

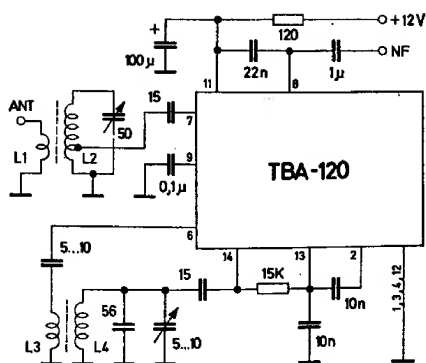


Sl. 9-61. Pogled na pokusnu gradnju prototipa prijemnika prema shemi na sl. 9-60. Tu su samo prva tri tranzistora sa pripadajućim dijelovima za prva tri stupnja: VF pojačalo, oscilator promjenljive frekvencije i diodni demodulator

Direktna konverzija sa integriranim sklopom TBA-120

Iako je TBA-120 namijenjen za međufrekventno pojačanje i demodulaciju frekventno moduliranih signala, talijanskom je amateru IW5AXS uspjelo sagraditi prijemnik sa direktnom konverzijom. Njegova je shema na sl. 9-62. Zavojnica L_1 omogućuje induktivnu vezu antene (ANT) sa ulaznim titrajnim krugom u kojemu je zavojnica L_2 . Ona ima odvojak kod desetog dijela svog ukupnog broja zavoja. Ovaj se određuje tako da taj titrajni krug

resonira unutar opsega koji želimo primati sa dvije trećine kapaciteta kondenzatora (50 pF). Oscilatorski titrajni krug ugađa se promjenljivim kondenzatorom koji ima maksimalni kapacitet 5 do 10 pF. Uz paralelni kondenzator od 56 pF (stirofleks!) on mora obuhvatiti opseg frekvencija, koje želimo primiti, sa zavojnicom L_1 . Povratnu vezu osigurava zavojnica L_3 . I ona treba samo oko desetog dijela broja zavoja koje ima L_2 . Ako oscilator ne »proradi« odmah, najvjerojatnije treba međusobno zamijeniti krajeve zavojnice L_3 .



Sl. 9-62. Integrirani sklop TBA-120 u kratkovalnom prijemniku sa direktnom konverzijom. Vidi opis u tekstu

Autor je za namatanje zavojnica za opseg od 3,5 MHz upotrebio prstenaste jezgričice »Amidon«, tipa T50-6, vanjskog promjera 12,7 mm. L_1 ima 3 zavoja, L_2 ima 40 zavoja sa odvojkom iza 3. ili 4. zavoja. Za oscilator L_3 ima 2 zavoja, a L_4 15 zavoja. Tko nema takve jezgre može zavojnice motati i na valjčasta tijela s jezgričama u obliku vijka. Broj zavoja za L_2 i L_4 je u tom slučaju najbolje odrediti pouzdanim »dipmetrom«.

Pogonski napon (12 V) mora biti stabiliziran. Niskofrekventni, demodulirani signal dobije se kod NF, gdje se priključuje neko niskofrekventno pojačalo.

KRATKOVALNI KONVERTORI

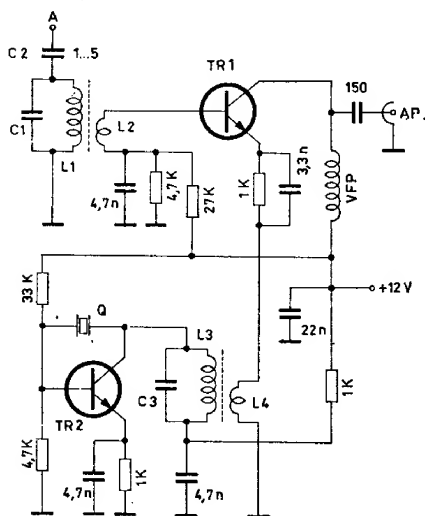
Većina prijemnika koje smo do sada opisali bili su za 80-metarski amaterski opseg 3,5 do 3,8 MHz. Na tome opsegu može se najlakše sagraditi prijemnik dovoljno velike stabilnosti. Želimo li primati druge kratkovalne opsege možemo ispred takvog prijemnika staviti konvertor koji će nam bilo koje kratkovalno područje transponirati (»prebaciti«) u opseg koji prima naš prijemnik. Tako će svaki jednostavniji prijemnik postati kratkovalni super.

Stabilan kratkovalni konvertor s dva tranzistora

Primjer tranzistorskog konvertora s kvarcovim oscilatorom je na sl. 9-63. Titrajni krug L_1/C_1 je visokofrekventni ulazni titrajni krug. L_2 je zavojnica za vezu s bazom tranzistora za miješanje TR1. Veza sa antenom je kapacitivna (preko C_2). U kolektorskom strujnom krugu je visokofrekventna prigušnica VFP. Na AP priključuje se, najbolje preko koaksijalnog, oklopljenog kabela, radio-aparat koji služi kao međufrekventno pojačalo promjenljive frekvencije.

Kvarcov kristal treba odabrati tako da je njegova frekvencija za odabrano međufrekventno područje viša ili niža od onog područja koje želimo primati. Titrajni krug L_3/C_3 mora resonirati na frekvenciju kvarca Q. Injekcija stiže preko zavojnice L_4 u emiter tranzistora za miješanje.

Označene vrijednosti sastavnih dijelova vrijede za prijem kratkovalnih područja uz primjenu silicijevih planarnih tranzistora tipa



Sl. 9-63. Konvertor s dva N-P-N tranzistora. Q = kvarcov kristal u oscilatoru

N-P-N. Za prijem kratkih valova to ne moraju biti neki specijalni tranzistori. Čak i BC107 i njemu slični mogu ovdje sasvim dobro raditi.

Tko ne može nabaviti odgovarajući kvarcov kristal, može umjesto kristalnog oscilatora s tranzistorom TR_2 upotrebiti i neki drugi. U poglavlju o visokofrekventnim oscilatorima može se naći odgovarajuća shema. Razumije se, stabilnost kristalnog oscilatora je veća!

Konvertor sa simetričnim stupnjem za miješanje

Konvertor na sl. 9-64 ima samo jedan titrajni krug. To je onaj na ulazu. On mora resonirati na kratkovalnu frekvenciju koju želimo primati. Promjenljivi kondenzator ulaznog titrajnog kruga (100 pF) neka na željenu frekvenciju resonira — zajedno sa zavojnicom L_2 — *sa toliko pikofarada koliko metara ima odgovarajuća dužina vala*. To je prastaro pravilo kojega se je dobro držati. Odvojak na L_2 neka bude na $1/7$ do $1/10$ ukupnog broja zavoja koji je najbolje odrediti »dip-metrom«. L_1 je antenska zavojnica sa $1/5$ do $1/7$ broja zavoja na L_2 .

Kvarcov kristal se pobuđuje tranzistorom TR_4 , dok je tranzistor TR_3 za pojačanje oscilacija. On sprječava direktno opterećivanje kristalnog oscilatora.

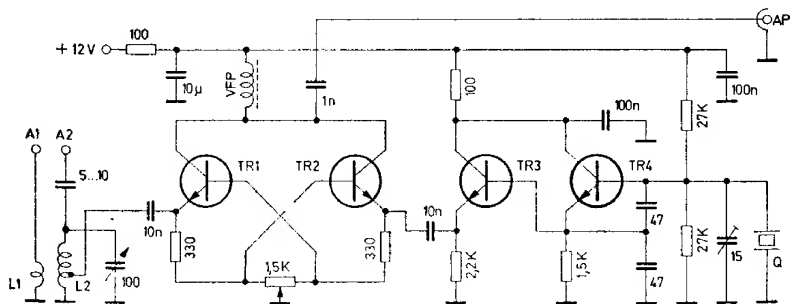
Simetrični stupanj za miješanje s tranzistorima TR_1 i TR_2 bio je već ranije opisan u ovom poglavlju. U zajedničkom kolektorskom strujnom krugu ovih tranzistora je visokofrekventna prigušnica VFP . Otuda se međufrekventni signal vodi na koaksijalnu priključnicu AP i dalje na antenski priključak 80-metarskog prijemnika koji će služiti kao međufrekventno pojačalo. Spoj između konvertora i toga prijemnika mora biti preko koaksijalnog kabela. Stanice koje slušamo biraju se na prijemniku. Na konvertoru treba samo ugoditi ulazni titrajni krug na maksimum rezonancije.

Potenciometar za simetriranje (1,5 k Ω) je u pravilnom položaju kad se u priključenom prijemniku čuju samo signali iz područja koje želimo primati.

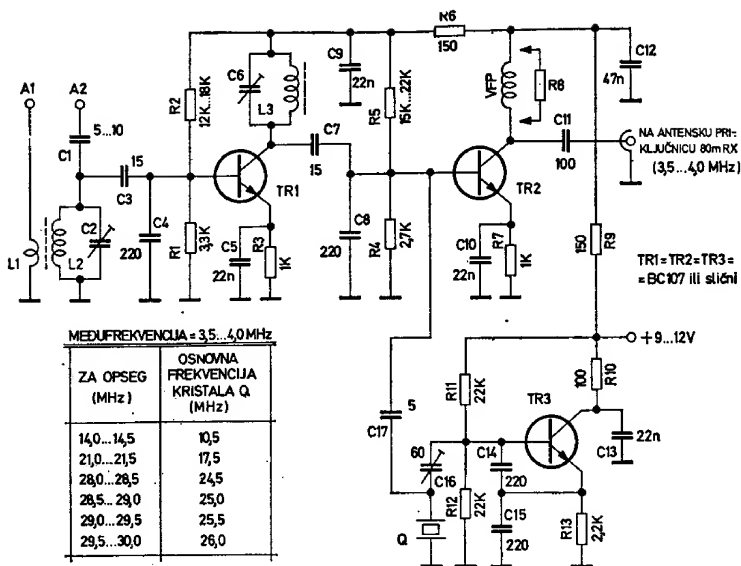
Konvertor za prijem frekvencija između 14 i 30 MHz

Obični, bipolarni tranzistori imaju nižu ulaznu impedanciju nego, npr. FET ili MOSFET. Do bipolarnih tranzistora se ipak može lakše doći. Zato se odlučujemo za njih. Odabrat ćemo tranzistore BF167 ili BF173. Oni su malošumni i imaju vrlo dobro pojačanje na tim frekvencijama.

Da ne bismo morali praviti odvojke na zavojnicama, možemo po-



Sl. 9-64. Kratkovalni konvertor sa dvostruko simetričnim mikserom (TR_1 i TR_2) i kvarcovim oscilatorom (TR_3 i TR_4)



Sl. 9-65. Konvertor za prijem kratkih valova kojima je frekvencija između 14 i 30 MHz. Konvertor se stavlja ispred nekog prijemnika za 80-metarski opseg (3,5 do 4,0 MHz)

trebno prilagođenje postići kapacitivnim razdjelnicama, sl. 9-65. To su C_3/C_4 i C_7/C_8 . Prvi par kondenzatora je spojen paralelno sa ulaznim titrajnim krugom. Drugi par se nalazi između prvog i drugog tranzistorskog stupnja.

Na frekvencijama između 14 i 30 MHz su resonancije »šire« pa je dosta da se zavojnice L_2 i L_3 ugrade paralelnim trimerom na sredinu opsega koji smo odabrali. Pritom ove zavojnice moraju biti dobro oklopljene da ne bi jedna na drugu djelovale.

Tranzistor TR_1 je u visokofrekventnom pojačalu. Neka to bude tranzistor BF167. U stupnju za miješanje, tranzistor TR_2 može biti BF167 ili BF173. Čak i BC107 će dati dobre rezultate.

U oscilatoru s kvarcovim kristalom Q iskušali smo više tranzistora. Najbolji je bio BF173, iako se BF167 i BC107 nisu pokazali mnogo slabiji. Iz oscilatora odlazi oscilato-

rova »injekcija« preko C_{17} na stupanj za miješanje.

Tablica na sl. 9-65 daje pregled potrebnih osnovnih frekvencija kristala Q. Prema opsegu koji želimo primiti treba, prema toj tablici, odabrati odgovarajući kvarc.

NEKOLIKO KRATKOVALNIH SUPERA

Mali super za eksperimentiranje

Amater koji još nikad nije gradio superheterodin mogao bi mnogo naučiti o toj vrsti prijemnika gradeći mali super, prema sl. 9-66, i eksperimentirajući s njime.

Mali super ima samo četiri tranzistora. Svi mogu biti jednaki: BC107 ili njemu slični jeftini silicijevi tranzistori.

Tranzistor TR_1 je u oscilatoru Seiler-ovog tipa. On mora obuhvatiti opseg od 5,2 do 5,7 MHz. U stupnju za miješanje, koji se nalazi od-

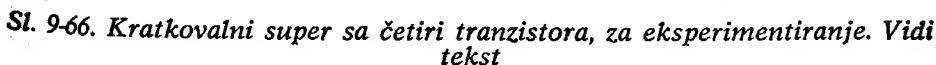
Sa odabranim frekventnim područjem za oscilator možemo primati *dva amaterska opsega*. Uz veće kapacitete (tj. uz jače zatvorene kondenzatore) u ulaznom titrajnom krugu, prima se 80-metarski opseg (3,5 do 4,0 MHz); uz manje kapacitete (otvaranjem toga kondenzatora) 40-metarski opseg (6,9 do 7,4 MHz). U *oba* slučaja se do *bije ista međufrekvencija*: 1700 kHz.

dati. Smanjen je i posao i izdatak, ali uz cijenu osjetljivosti prijemnika. Ona je zato manja, no nitko ne može očekivati da će takav mali super moći konkurirati onim «vrhunskim», skupim i kompliciranim prijemnicima. Međufrekventni signal se vodi odmah u demodulator.

Kao demodulator na međufrekvenciji upotrebljen je tranzistorski »audion« s povratnom vezom. Ona se regulira potenciometrom P na način koji smo već ranije upoznali.

Izbor međufrekvencije nije kritičan. Ona treba da bude oko 1700 kHz, ali može biti i nešto veća ili nešto manja, glavno je da se na toj frekvenciji ne čuje nikakva stanica.

Zavojuica L_3 i zavojuica L_4 namotane su na istom papirnatom valjku, prema podacima tablice 9-5. Paralelno sa zavojuicom L_3 spojeni su *fiksni* kondenzatori što bolje kvalitete. Ako zavojuicu namotamo prema podacima, međufrekvencija će biti u pravom području i ne treba je mjeriti. Budući da ovaj titrai-



Tablica 9-5. Zavojnice za kratkovalni super (prema sl. 9-66)

Zavojnice, namotane na valjku promjera 20 mm. Žica CuL				
Amaterski opseg	Zavojnica	Broj zavoja	Debljina žice	Dužina zavojnice
3,5 i 7 MHz	L_1	33	0,5 mm	20 mm
	L_2	28		20 mm
14 MHz	L_1	12	0,5 mm	20 mm
	L_2	9		20 mm
Međufrekv. 1 700 kHz	L_3 L_4	17 55	0,25 mm	zavoj do zavoja

Napomena: Odvojak na zavojnici L_2 dolazi iza 4. ili 5. zavoja za 3, 5 i 7 MHz, odnosno iza 2. ili 3. zavoja za 14 MHz.

ni krug ne treba ni s jednim drugim dovesti u sklad, nije ništa predviđeno za njegovo daljnje ugađanje.

Tranzistor TR_4 je u niskofrekventnom pojačalu koje osigurava prijem na slušalice. Pritom se potencijometrom P_2 namješta optimalna radna tačka.

Ako taj prijemnik načinimo tako da se zavojnice mogu mijenjati, moći ćemo s njime primati i 20-metarski amaterski opseg 14 MHz. Podaci za motanje potrebnih zavojnica također su u tablici 9-5.

Tijesno uz 40-metarski amaterski opseg radi mnogo vrlo jakih kratkovalnih radiofonijskih stanica pa se može dogoditi da one »probijaju« i onda kad je ulazni titrajni krug ugođen na 80-metarske frekvencije. U takvom slučaju mora se oslabiti veza sa antenom da bi ulazni titrajni krug bio manje opterećen i da tako bude selektivniji. Da se to postigne može se i u vod koji ide prema antenskoj priključnici staviti neki kondenzator, najbolje trimer od tridesetak pF, i njegov kapacitet odabrati tako da se ovakve smetnje, koliko je moguće, smanje.

Pri gradnji treba paziti da raspored sastavnih dijelova približno odgovara njihovom rasporedu na shemi. Međusobni spojevi neka ne

budu dugački, ali ipak ne treba sve biti zbijeno. Zavojnice ne treba oklapati u takvom eksperimentalnom prijemniku. Sve treba da je pristupačno kako bi se moglo mijenjati.

Konstruktor može eksperimentirati s različitim zavojnicama, iskušavati različite metode za razvlačenje amaterskih opsega, kao i pokušati rad s različitim međufrekvencijama. Pri tome će taj prijemnik moći da posluži i za upoznavanje načina na koji radio-amateri održavaju svoje veze. Uz neki mali predajnik, taj prijemnik može, ako je solidno građen, poslužiti i kao *komunikacijski* prijemnik za održavanje radio-amaterskih veza.

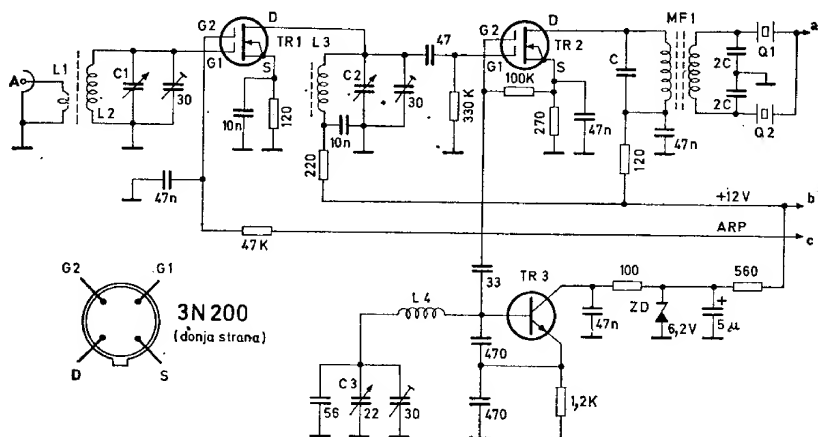
Kratkovalni super sa domaćim MOSFET tranzistorima

U novije vrijeme se tranzistori tipa FET i MOSFET sve više primjenjuju. Električnom strujom koja kroz njih teče upravlja se preko »vrata« (engl. gate, čitaj »gejt«). Ova gejt-elektroda pokazuje svojstva slična upravljačkoj mrežici elektronskih cijevi. Za razliku od »baze« običnih tranzistora kroz koju uvijek mora teći pobudna električna struja, gejt-elektroda svoju

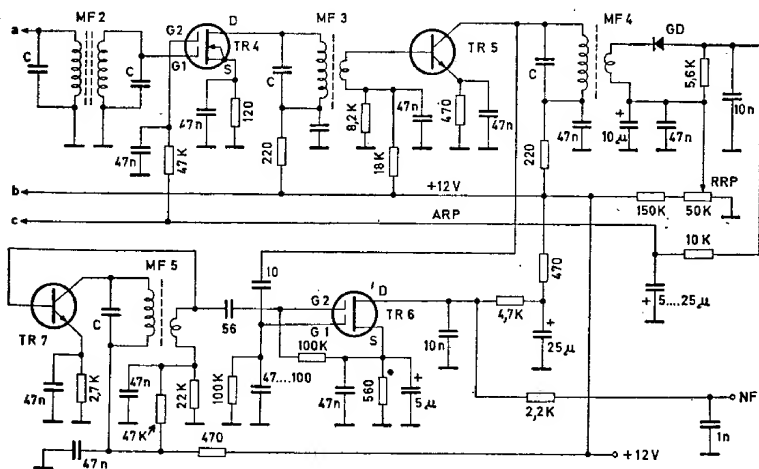
funkciju vrši isključivo promjenom prednapona, bez trošenja električne energije. Zato ni FET ni MOSFET tranzistori ne prigušuju titrajne krugove s kojima su u vezi. Kod FET-a je upravljačka elektroda (gejt) srasla sa poluvodičkim kristalom, dok je kod MOSFET-a od kristala izolirana slojem silicijskog oksida (SiO_2). Taj je sloj tako tanak da ga lako probiju elektrostatski naboji koji mogu nastati samim do-

ticanjem pri montaži i ugradnji. MOSFET je zbog toga u početku bio na »zlu glasu«. Danas su mu gejst-elektrode zaštićene ugrađenim, minijaturnim zenerskim diodama pa se MOSFET može upotrebljavati kao i svaki drugi tranzistor.

Domaći MOSFET 3N200 (»RIZ«) jedan je od najmodernijih tranzistora svoje vrste. Ugrađen je u malo metalno kućište TO-72 sa četiri priključne žice. Na sl. 9-67a je slo-



Sl. 9-67a. Shema kratkovalnog supera sa MOSFET tranzistorima (prvi dio)



Sl. 9-67b. Shema kratkovalnog supera sa MOSFET tranzistorima (drugi dio)

vima označeno što je s tim žicama u vezi. G_1 i G_2 pripadaju jednoj i drugoj gejtt-elektrodi (vrata, upravljačke elektrode). Oznaka S pripada surs-elektrodi (source, izvor, istok) i, istovremeno, predstavlja spoj sa tzv. supstratom (podlogom, tj. s kristalnom pločicom) i spoj sa metalnim kućištem. Slovo D označuje priključak drejn-elektrode (drain, odvod, utok).

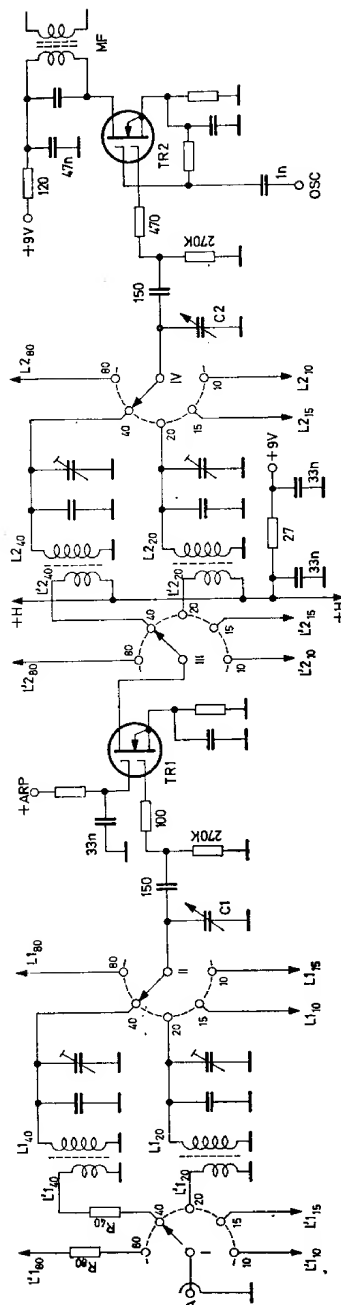
Normalni pogonski napon za 3N200 je 12 do 15 V. Radna tačka za pojačala postiže se otpornikom u strujnom krugu surs-elektrode. Takav otpornik (120 do 300 Ω) osigurava potreban prednapon za G_1 . Na G_2 se često stavlja pozitivan prednapon. On ne bi smio biti veći od +4 do +5 V, ali smije biti i jednako toliko negativan. Maksimalan napon (vršni) između D i S ne smije preći 30 V.

Tranzistor 3N200 može se primijeniti sve do frekvencija oko 800 MHz. Odlikuje se veoma malim šumom. Njegov šum kod 500 MHz ne prelazi 4 dB (2,5 kT_e) uz pojačanje od najmanje 14 dB. Kod nižih frekvencija (150 MHz i manje) mogu se očekivati pojačanja oko 20 dB i viša, uz šum koji dostiže jedva 2,5 dB (bolje od 1,8 kT_e), te se u tome može mjeriti s najboljim tranzistorima.

Gotovo bi se moglo reći da je MOSFET 3N200 »predobar« za kratkovalne opsege (HI). Mogli bi poslužiti i slični tranzistori, još uvijek odličnih svojstava: 3N201, 3N202, 3N203, 3N211, 40673 i drugi.

Prijemnik kojemu shemu vidimo na sl. 9-67, *a* i *b*, bio je sagrađen za prijem kratkovalnih amaterskih opsega. Shema je nacrtana samo za jedan opseg, ali se promjenom titrajnih krugova u ulaznim stupnjevima, kao i u oscilatoru, mogu proširiti mogućnosti. Shema na sl. 9-67 vrijedi za 80-metarski opseg (3,5 do 4,0 MHz).

Dvostrukim promjenljivim kondenzatorom, C_1 i C_2 (2×50 pF), može se — uz zavojnice L_2 i L_3 — obuhvatiti čitav opseg. Ove titrajne krugu-



Sl. 9-68. Veći broj amaterskih opsega može se prijemnikom obuhvatiti uz upotrebu valnog preklonika sa više položaja. Opis u tekstu

ve treba međusobno uskladiti tako da se, uz zatvorene kondenzatore C_1 i C_2 , dovedu u resonanciju na 3,4 MHz pomoću jezgrica u zavojnicama L_2 i L_3 . Uz otvorene kondenzatore treba postići resonanciju na 4,1 MHz (pomoću trimera od po 30 pF u istim titrajnim krugovima).

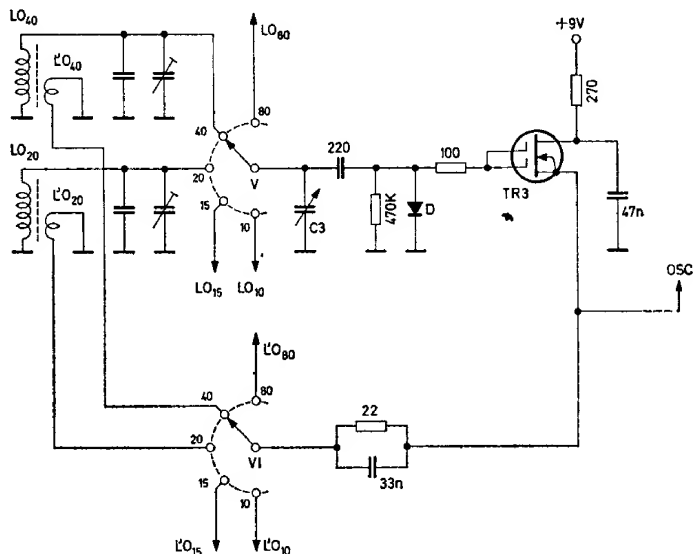
Prvi MOSFET, TR_1 radi kao visokofrekventno pojačalo i njegova upravljačka elektroda G_1 direktno je priključena na titrajni krug. Razumije se da ulazni (L_2C_1) i izlazni titrajni krug (L_3C_2) moraju biti dobro odijeljeni a zavojnice oklopljene.

U stupnju za miješanje je jednak MOSFET, TR_2 . Njegova druga upravljačka elektroda, G_2 , prima VF »injekciju« iz oscilatora za miješanje. Amplituda toga VF napona nije previše kritična, ali ne treba biti viša od 300 mV. Također ne smije biti preniska. Ako je injekcija iz oscilatora preslaba, onda stupanj za miješanje jače šumi. Optimalna vrijednost je 100 do 200 mV. Oscilator je načinjen s tranzistorom BC108 (TR_3), ali može biti i BF173

ili bilo kakav N-P-N silicijski tranzistor kojemu je frekvencija f_T barem 100 MHz. Pogonski napon oscilatora je stabiliziran Zenerovom diodom na 6,2 V.

Prvi međufrekventni bandfilter je MF_1 . Na njega se nadovezuje kristalni filter iza kojega slijedi međufrekventni bandfilter MF_2 (sl. 9-67b). Sličan filter je bio objašnjen ranije u ovoj knjizi (sl. 9-32b). Ako se možemo zadovoljiti s manjom selektivnošću, možemo ta dva MF bandfiltera upotrijebiti bez kvarcovih kristala, prema sl. 9-30a. S kristalnim filterom postiže se bolja selektivnost kakva odgovara za prijem SSB telefonije. Tada izbor međufrekvencije ovisi o frekvenciji filter-skih kristala. O tome izboru opet ovisi opseg frekvencija koje treba obuhvatiti oscilatorom. Zavojnicu L_4 treba načiniti tako da oscilator radi na frekvenciji koja je za iznos međufrekvencije viša od opsega koji želimo primati.

U prvom međufrekventnom pojačalu upotrebljen je treći MOSFET, TR_4 , iako bi — što se tiče pojačanja



Sl. 9-69. U prijemniku za više opsega mora se istim valnim preklopnikom (sl. 9-68) promijeniti i frekvencija oscilatora. Vidi tekst

— i tranzistor neke druge vrste, npr. BF167 ili BF267, također sasvim zadovoljio. Stavili smo opet MOSFET jer je, u kombinaciji sa MOSFET-om u VF pojačalu, moguće na jednostavan način postići vrlo dobru ARP. U drugom, nereguliranom MF pojačalu moguće je staviti kao TR_5 običniji tranzistor, najbolje BF 173 (ili BF273).

»Demodulator« s germanijevom diodom GD bio bi običan, kad ne bi bilo potencimetra za RRP . Ovaj, zajedno sa svojim predotpornikom ($150\text{ k}\Omega$) određuje veličinu prednapona na elektrodama G_2 tranzistora u VF i MF stupnju. Taj je prednapon pozitivan. Njemu se pribraja negativan prednapon koji nastaje ispravljanjem signala u GD . Za demodulaciju ne koristimo ovaj stupanj nego poseban produkt-detektor sa MOSFET-om, TR_6 , u vezi sa BFO oscilatorom (MF_5 i TR_7). Kod NF može se priključiti niskofrekventno pojačalo.

Ako želimo primiti više amaterskih opsega, može se sam prijemnik sagraditi samo za 80-metarski opseg, a za prijem ostalih opsega predvidjeti konvertor s kristalnim oscilatorima.

Dakako, postoji i drugačiji put. Mogu se preklopnici mijenjati zavojnice u oscilatorskom i u ulaznim titrajnim krugovima, sl. 9-68.

Preklopnikom $I+II$ mijenjaju se zavojnice ispred visokofrekventnog pojačala (TR_1). Zavojnice između TR_1 i stupnja za miješanje (TR_2) mijenjanju se preklopnici $III+IV$. Da crtež bude pregledniji prikazani su spojevi sa zavojnicama samo za dva opsega, dok su veze sa ostalim zavojnicama samo naznačene.

Sl. 9-69 pokazuje kako se preklopnici mogu mijenjati zavojnice u oscilatoru. Nacrtno je ujedno i oscilatorski sklop u kojemu se povratna veza postiže pomoću posebne zavojnice, uključene u strujni krug surs-elektrode tranzistora TR_3 . To je MOSFET s dva gejtja, ali su oba spojena paralelno. To

znači da se na tome mjestu može upotrebiti i običniji JFET. Sličan se oscilator može naći u tvorničkom prijemniku »MINIX MR55A«.

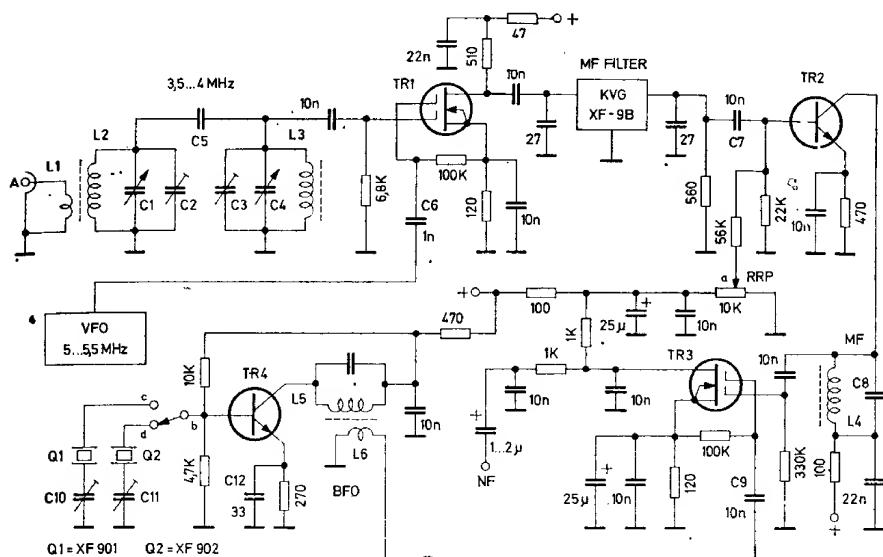
Onome, tko još nema veće iskustvo u gradnji takvih prijemnika ne preporučujemo da se odluči odmah na svih pet kratkovalnih opsega. Za početak treba graditi samo 2 do 3, da se kasnije proširi na 4 i na 5.

Kratkovalni super s visokom međufrekvencijom

Na sl. 9-70 je shema kratkovalnog supera s međufrekvencijom od 9 MHz. Potrebna selektivnost najlakše se postiže savremenim kristalnim filterima. Upotrebili smo filter »KVG-XF-9B« koji odgovara za prijem SSB-signala.

Izborom takve međufrekvencije prijemnik postaje jednostavniji. Na ulazu ne treba visokofrekventnog pojačala. Dovoljno je staviti samo titrajni krug ili, bolje, bandfilter za prijemne frekvencije, kao na našoj shemi. Možemo se odlučiti za opseg od 3,5 ili od 14 MHz.

Oscilator za miješanje može biti jedan od ranije opisanih, koji radi u opsegu od 5 do 5,5 MHz. On djeluje na mikser sa MOSFET-om TR_1 . U međufrekventnom pojačalu je tranzistor TR_2 , recimo BF167. Međufrekventna zavojnica L_4 , sa kondenzatorom C_8 , pripada malom međufrekventnom transformatoru kakvih, za 10,7 MHz, ima u mnogim malim radio-prijemnicima. Jednom takvom, »japanskom«, lako se može dodatkom malog kondenzatora (probati!) sniziti resonantna frekvencija na 9 MHz. MOSFET TR_3 je u produkt-detektoru. Pomoćni oscilator za demodulaciju (BFO) radi sa kristalima Q_1 i Q_2 koji se nabavljaju zajedno s međufrekventnim filterom. Zavojnice L_5 i L_6 mogu opet biti one koje se nalaze u MF filterima za 10,7 MHz. Treba ga samo ugoditi, dodatkom malog kapaciteta, na frekvenciju od 9 MHz pa će kristali oscilirati. TR_4 može biti



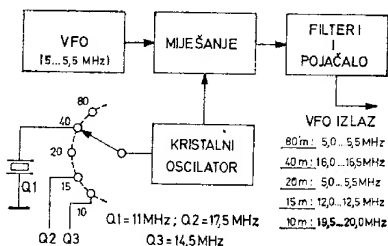
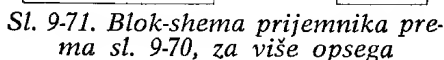
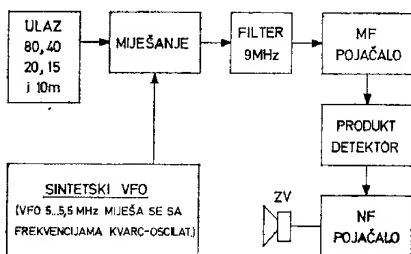
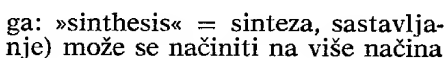
bilo koji savremeni silicijev tranzistor.

Kod *NF* priključuje se niskofrekventno pojačalo koje na svom ulazu mora imati potenciometar za regulaciju glasnoće.

Za jedan amaterski opseg jedva da bi se moglo naći nešto jednostavnije i tako dobro. Želimo li primati više opsega, onda je to sa ovakvim prijemnikom mnogo lakše postići nego nekim drugim koji ima nižu međufrekvenciju.

Prijem svih amaterskih kratkovalnih područja, od 80 do 10 metara valne dužine, postići ćemo na način koji je u blok-shemi prikazan na sl. 9-71. Ulazne titrajne krugove možemo mijenjati preklopnikom, onako kako je to bilo ostvareno u primjeru na sl. 9-68, preklopnicima I i II. Pitanje oscilatora može se riješiti na savremen način pomoću tzv. sinteze.

Sklop koji *sintezom* »sastavlja«
potrebne frekvencije (engl. »synth-
esizer«, čitaj: sintisaizer; od grčko-



(vidi i u poglavlju o oscilatorima). Na sl. 9-72 je prikazana sinteza oscilatorovih frekvencija metodom koja se zove »premix«, tj. miješanjem frekvencije promjenljivog oscilatora (VFO) sa frekvencijama kristalnog oscilatora. Ako je među-frekvencija 9 MHz, onda se potrebne oscilatorske frekvencije mogu postići upotrebom samo triju kvarcovih kristala za prijem na svim amaterskim kratkim valovima.

VFO mora raditi unutar opsega od 5,0 do 5,5 MHz. Sama njegova frekvencija je dovoljna za prijem u opsegu između 3,5 i 4,0 MHz, ali također u opsegu između 14,0 i 14,5 MHz. Zato za 80-metarski i 20-metarski opseg ne treba ništa drugo. Položaji preklopnika (sl. 9-72) koji tome odgovaraju su prazni!

Za prijem 40-metarskog opsega treba nam oscilatorska frekvencija od 16,0 do 16,5 MHz, što se postiže miješanjem VFO-a i frekvencije kvarca od 11 MHz. 15-metarski opseg prima se sa oscilatorovom frekvencijom od 12,0 do 12,5 MHz. Taj se opseg dobije miješanjem VFO-a i frekvencije kristala od 17,5 MHz. Konačno, za prijem frekvencija između 28,5 i 29,0 MHz (u najviše upotrebljavanom dijelu 10-metarskog opsega) potrebna se oscilatorska frekvencija (od 19,5 do 20,0 MHz) dobije miješanjem frekvencije VFO-a i frekvencije kristala od 14,5 MHz.

5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	VFO
4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	(80m)
7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	(40m)
14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	(20m)
21,5	21,4	21,3	21,2	21,1	21,0	(15m)
28,5	28,6	28,7	28,8	28,9	29,0	(10m)

Sl. 9-73. Raspored frekvencija svih pet amaterskih kratkovalnih područja na skali prijemnika prema sl. 9-70, sl. 9-71 i sl. 9-72. Komentar u tekstu

Prijemnik se ugađa okretanjem dugmeta kojim se mijenja frekvencija VFO-a. Na toj skali, koja obuhvata frekvencije od 5,0 do 5,5 MHz, »dolaze« onda signali amaterskih radio-stanica prema rasporedu na sl. 9-73. Od lijeve na desnu stranu na toj slici rastu frekvencije VFO-a, 40-metarskog i 20-metarskog, kao i 10-metarskog opsega. Raspored frekvencija za 80-metarski i 15-metarski opseg ide »naopako«, tj. raste sa desne prema lijevoj strani skale.

Upotrebom većeg broja kristala i, možda, drukčijim opsegom frekvencije za VFO moglo bi se i to uskladiti, ali — bilo bi znatno skuplje, osobito ako bismo htjeli primati kompletan 10-metarski opseg. Većinu radio-amatera neće gore spomenuti maleni nedostatak smetati.

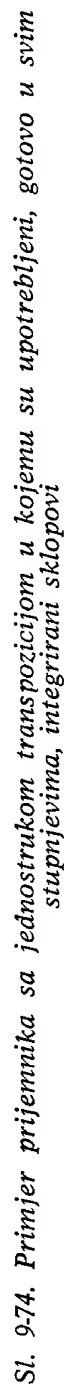
Prijemnik sa integriranim sklopovima

Integracija omogućuje gradnju jednostavnijih, ali kvalitetnih i pouzdanih prijemnika. Pojedini integrirani sklop predstavlja već gotov dio, funkcionalno sposoban, toliko da mu izvana treba samo malen broj dodatnih elemenata.

Primjer takvog kratkovalnog prijemnika je shematski prikazan na sl. 9-74. Integrirani sklopovi su u visokofrekventnom pojačalu, u mikseru, u međufrekventnom pojačalu, u produkt-detektoru i u generatoru napona za automatsku regulaciju pojačanja (ARP). Niskofrekventno pojačalo nije nacrtano, ali i ono je redovito sa nekim integriranim sklopom.

Osim integriranih sklopova upotrebljena su samo dva FET-a. Od ovih je TR_1 u oscilatoru (VFO) za miješanje, a drugi (TR_2) je u pomoćnom oscilatoru (BFO) za prijem telegrafije i SSB-signala.

Na ulazu prijemnika je, odmah iza antenskog priključka, atenuator (200 Ω) za prigušivanje ulaznih VF



napona. Zatim dolazi bandfilter (sa C_1 i C_2) koji se ugađa na prijemne frekvencije (tzv. »preselektor«). Razumije se da se na tome mjestu mora staviti valni preklopnik, ali to nije nacrtano da slika bude preglednija. I zavojnica u oscilatoru se mora mijenjati, ovisno o opsegu frekvencija koje se želi primati. U BFO-u je također, zbog jednostavnosti sheme, nacrtan samo jedan kristal, ali obično ih se ugrađuje više, dva ili tri, za prijem telegrafije, za gornji i za donji bočni pojas SSB-signala.

Selektivnost je osigurana kristalnim međufrekventnim filterom. I na tome mjestu mogu se ugraditi filteri za različite selektivnosti (poseban filter za telegrafiju i poseban za SSB ili drugačije), prema želji i potrebi.

Integrirani sklopovi *SL-610*, *SL-641*, *SL-612*, *SL-621* (»Signetics«) određeni su za rad sa pogonskim naponom od 6 V. Ima sličnih i za napon od 12 V, pa se to mora uzeti u obzir kod gradnje prijemnika. Niskofrekventna integrirana pojačala najčešće rade sa 12 do 15 V. Nije teško načiniti ispravljač koji daje i 6 i 12 V, ako je to potrebno.

Komunikacijski prijemnici tvorničke proizvodnje

Današnji komunikacijski prijemnici vrlo su kompleksno građeni i, mirno možemo reći, radio-amateru nema smisla da putem samogradnje *oponaša* specijaliziranu industriju. Za to on nema ni materijala, ni opreme, ni *potrebnih mjernih instrumenata*, čak ni onda ako bi bio u stručnom pogledu »dorastao« takvom pothvatu.

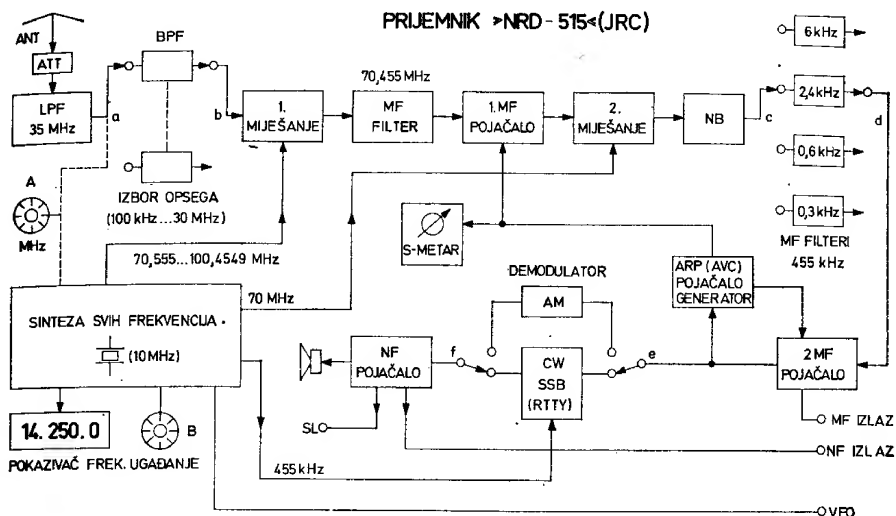
Amaterska samogradnja treba poći realističnijim putem. Treba odabrati *takav projekt koji će moći biti i završen*. Ipak, proučavajući kako su načinjeni, kako rade i kakve mogućnosti pružaju tvornički proizvedeni radio-uređaji, mnogo možemo naučiti o radio-tehnici.

Tko je upoznat sa *funkcijom* radio-uređaja moći će ga i *pravilnije i potpunije koristiti*. Samim gledanjem prednje strane uređaja (sl. 9-75) i znanjem koje ne prelazi ono, što amateri nazivaju »knobology« (čitaj: »nabolodži«; »nauka o dugmadima«, HI), ne zna se mnogo.

Mi ćemo, na kraju poglavlja o prijemnicima za frekvencije do 30 MHz, pogledati kako ih grade u tvornicama. Za tu smo svrhu oda-



Sl. 9-75. Prednji izgled prijemnika tvorničke proizvodnje



Sl. 9-76. Pregledna blok-shema prijemnika »NRD-515« (JRC). Vidi tekst

brali blok-shemu japanskog prijemnika NRD-515 tvornice »JRC« (Japan Radio Company, Tokio), jer je tipičan primjer današnjih proizvoda ove vrste, namijenjenih amaterima, iako može poslužiti i kao komunikacijski prijemnik za druge svrhe.

Blok-shema, sl. 9-76, pokazuje najvažnije sklopove i njihove međusobne veze. Otuda vidimo da je to dvojni super. Prva mu je međufrekvencija vrlo visoka, čak 70,455 MHz. Ona je izvan svih prijemnih opsega, a svojom visinom osigurava praktički potpuno potiskivanje zrcalnih frekvencija.

Da se ne bi dogodilo da u prijemnik »upadnu« neke frekvencije iz različitih UKV opsega, kojima je prva međufrekvencija veoma blizu, na ulazu prijemnika je niskopropusni filter (LPF). Njegova je granična frekvencija 35 MHz. Odbraća je tako da ne oslabljuje signale ni u najvišem prijemnom opsegu. Filter dobro propušta sve niže frekvencije, dok sprječava prodor viših frekvencija u prijemnik. Na ulazu je i oslabljivač (atenuator) ATT koji se može uključiti kada u nepo-

srednoj blizini radi neka snažna radio-stanica.

Ispred stupnja za 1. miješanje nalazi se potreban broj bandfiltera (BPF), za svaki prijemni opseg po jedan. Inače, ulaznih titrajnih krugova koje bi trebalo ugađati nema, osim za tzv. srednji val. Signali dolaze, bez ikakvog prethodnog visokofrekventnog pojačanja, odmah u stupanj za miješanje.

Oscilatorska frekvencija za to miješanje dolazi iz *digitalnog sintetizatora* (»sintisajzera«) u kojemu se pripremaju sve potrebne frekvencije. Ishodna frekvencija iznosi 10 MHz i dobije se kristalnim oscilatorom.

Da se mogu obuhvatiti sva područja od 100 kHz do 30 MHz, frekvencije koje su potrebne za 1. miješanje »idu« od 70,555 do 100,4549 MHz. Pojedini opsezi obuhvataju po 1 MHz širine i odabiru se dugmetom A, dok B služi za ugađanje prijemnika. Obzirom na digitalni sistem pripremanja frekvencija, nije moguće kontinuirano mijenjanje, pa su predviđeni »koraci« od po 100 Hz.

Filter za *prvu međufrekkvenciju* (70,455 MHz) je odmah ispred prvog međufrekventnog pojačala. Iza ova g slijedi *2. stupanj za miješanje*. Tu se miješaju signali na prvoj međufrekkvenciji sa oscilatorskom frekvencijom od 70,0 MHz i dobije se *druga međufrekkvencija*, 455 kHz. Prije ulaza u selektivne međufrekventne filtere signal prolazi kroz prigušivač impulsnih smetnji (*NB*, »Noise blanker«). Odabrali se mogu četiri različita stupnja selektivnosti, sa propusnim opsegom od 6 kHz (za AM-sigale), zatim od 2,4 kHz (za SSB-sigale) i od 600 Hz ili 300 Hz širine (za prijem telegrafije). Iza toga slijedi pojačalo za drugu međufrekkvenciju.

Iza drugog MF pojačala signal odlazi jednim dijelom u sklop za pripremanje i pojačanje napona koji služi za automatsku regulaciju pojačanja (*ARP*) i za pokretanje S-metra.

Drugim dijelom signal se vodi u *demodulatore*. Tu je demodulator za amplitudno modulirane signale (AM) i demodulator za telegrafске (CW) i SSB-sigale. Ovaj drugi demodulator treba, kako znamo, i BFO-injekciju na frekvencijama oko 455 kHz, posebno za CW, za donji i za gornji bočni pojas (SSB). Predviđena je i mogućnost prijema dalekopisačem (RTTY).

Ugrađeno *integrirano niskofrekventno pojačalo* osigurava dovoljno glasan prijem jer mu je izlazna snaga oko 1 W.

Od ostalih zanimljivosti koje posjeduje ovaj prijemnik treba spomenuti posebne izlazne priključnice za slušalice (*SL*), još jedan niskofrekventni izlaz (*NF*) i mogućnost da se iz prijemnika izvede i međufrekventni signal.

Mnogi današnji prijemnici imaju dvije mogućnosti za očitavanje primarne frekvencije: običnu, »analognu« skalu i digitalni pokazivač frekvencije (»display«, čitaj: displej). Ovdje postoji samo digitalni pokazivač, na kojemu se frekvencija direktno čita u megahercima, kiloh-

cima i stotinama herca. Uz dugmad za izbor frekvencije su neke oznake, pa se i njima može operator služiti pri odabiranju primarne frekvencije, ali to ipak nisu »prave« analogne skale.

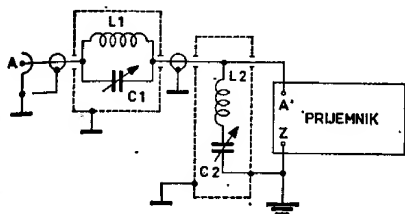
Proučavanje detaljnih shema, koje su korištene u pojedinim stupnjevima, bilo bi također vrlo zanimljivo, ali to — nažalost — ne dopušta raspoloživi prostor u ovoj knjizi.

DODATNI UREĐAJI ZA POBOLJŠANJE PRIJEMA

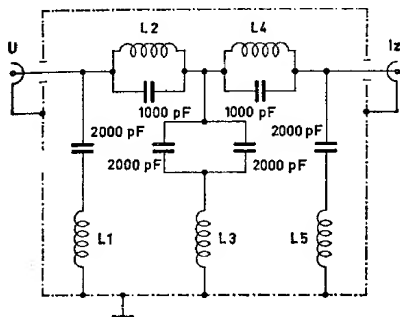
Filteri i valolovke

Amaterske radio-stanice, smještene u blizini jakih srednjevalnih radiofonijskih stanica, često su izložene vrlo neugodnim smetnjama. Iako radiofonijska stanica radi na srednjem valu (550 do 1600 kHz), amater koji sluša kratkovalne signale čuje ipak, zajedno sa željenim signalom, neželjeni »koncert«. To je tipičan primjer tzv. unakrsne modulacije. Ovoj pojavi mogu biti izloženi i oni prijemnici koji su inače vrlo dobri i skupi. Pri tome nema »krivnje« na radiofonijskoj stanici. Ona redovito radi sasvim ispravno, ali, ako je njezin signal daleko prejak, može se radna tačka u nekom stupnju samog prijemnika pomaknuti u nelinearno područje. Uslijed toga se onda radiofonijska modulacija može prenijeti na bilo koji kratkovalni signal.

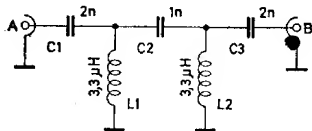
U takvim slučajevima treba visokofrekventni napon, koji se u anteni inducirao djelovanjem srednjevalne stanice, smanjiti prije nego li može stići u prijemnik. Za ovo postoje dvije mogućnosti, prema sl. 9-77. Titrajni krug L_1/C_1 stavlja se u antenski dovod i, ako resonira na frekvenciju srednjevalne radio-stanice, on će oslabiti smetajući signal. Druga je mogućnost da se serijski titrajni krug L_2/C_2 stavi između antenske priključnice A' i šasije prijemnika Z . U slučaju resonancije



Sl. 9-77. Primjeri uključivanja tzv. »valolovke«, filtera za uklanjanje smetnji od lokalne, srednjevalne radiofonijske stanice



Sl. 9-78. Filter za oslabljivanje srednjevalnih signala (500 do 1600 kHz) koji se uključuje u koaksijalni antenski dovod ispred prijemnika



Sl. 9-79. Jednostavniji visokopropusni filter koji lako propušta sve kratkovalne, a zadržava srednjevalne frekvencije

srednjevalni će signal otići mimo prijemnika i neće moći smetati.

Kod osobito jakih smetnja, ako se netko nalazi u neposrednoj blizini antene neke radio-stanice, može istovremeno primijeniti oba filtera. I jedan i drugi moraju biti oklopljeni tako da su titrajni krugovi i svi vodovi između antenskog priključka A i antenske priključnice

prijemnika A' potpuno zaštićeni. Ovakve filtere nazivaju i »valolovkama«. Oni ne smetaju prijemu kratkih valova.

Izuzetno mogu postojati takve smetnje od nekoliko srednjevalnih radiofonijskih stanica. Tada je bolje upotrebiti neki filter koji će spriječiti prolaz svim srednjevalnim frekvencijama od 550 do 1600 kHz. Jedan filter ove vrste je shematski prikazan na sl. 9-78. Induktiviteti zavojnica neka budu: $L_1 = L_5 = 10 \mu H$; $L_2 = L_4 = 33 \mu H$; $L_3 = 4,7 \mu H$. I zavojnice i kondenzatori moraju biti vrlo kvalitetni. Filter treba potpuno oklopiti. Na ulazu (U) i na izlazu (IZ) treba staviti koaksijalnu priključnicu. Navedene električne veličine vrijede za tzv. »niskoomske« antenske oklopljene vodove s koaksijalnim kabelima (50 do 75 Ω). Tada je potiskivanje srednjevalnih signala vrlo dobro, a filter nema utjecaja na prijem kratkih valova.

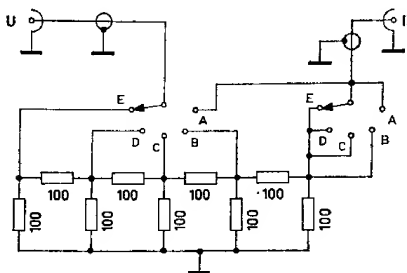
Visokopropusni filter, sl. 9-79, također vrlo dobro propušta sve kratkovalne frekvencije, dok zadržava i srednjevalne i dugovalne. Također mora biti ugrađen u limenu kutiju, ali tako da zavojnice L_1 i L_2 ne mogu djelovati jedna na drugu. Najbolje je da je svaka u svome pregrađenom prostoru, ne preblizu limenim stijenama. A i B su koaksijalne priključnice. Filter je predviđen za priključak antene koaksijalnim kabelom (npr. kod A). Od filtera do prijemnika (od priključnice B) također mora biti upotrebljen koaksijalni, oklopljeni kabel.

Ulazni atenuatori

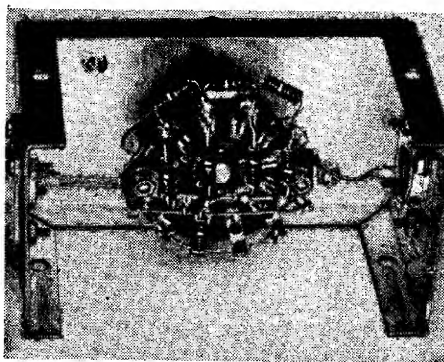
Ako je osjetljivi prijemnik izložen uticaju prejakih signala moguće je primjetiti niz poteškoća koje su posljedica »pretrecenja«. Zato mnogi operatori ne koriste za prijem veliku, predajnu antenu. Zadovoljavajući se s komadićem žice, priključenim na ulaz prijemnika, oni zapravo smanjuju jakost ulaznih signala uz cijenu relativnog po-

većanja smetnja i šuma. Mnogo je bolje poslužiti se najboljom antenom a, u slučaju potrebe, reducirati jakost ulaznih signala na optimalan iznos pomoću posebnog atenuatora.

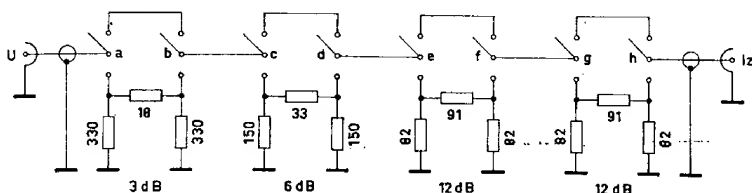
Ulazni atenuator treba da bude prilagođen impedanciji same antene i antenskog voda, te ulaznoj im-



Sl. 9-80. Atenuator za oslabljivanje ulaznih signala do 40 dB, u stupnjevima po 10 dB, s preklopnikom za dva strujna kruga i pet položaja



Sl. 9-81. Unutrašnji izgled atenuatora prema sl. 9-80



Sl. 9-82. Atenuator za oslabljivanje ulaznih signala do 33 dB, u stupnjevima po 3 dB

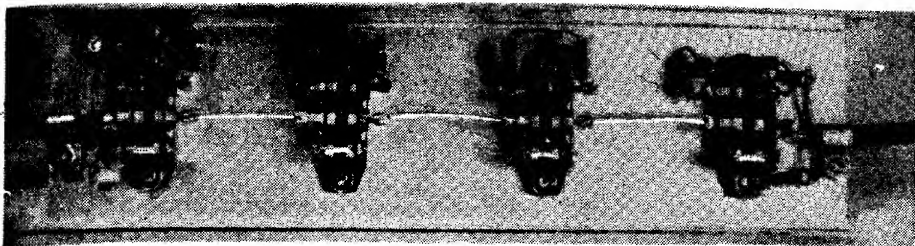
pedanciji prijemnika. Osim toga atenuator mora biti promjenljiv tako da se stupanj atenuacije može prilagoditi prilikama. Danas ima i fabrički proizvedenih prijemnika s ugrađenim ulaznim atenuatorima koji usklađuju jakost signala prema osjetljivosti prijemnika na drugačiji način nego to čine uobičajeni ručni ili automatski regulatori pojačanja. Ovdje ćemo opisati dva takva atenuatora, prilagođena za koaksijalne antenske vodove (50 do 75 Ω).

Na sl. 9-80 je primjer atenuatora za najveće slabljenje signala do 40 dB pomoću dvostrukog preklopnika s pet položaja. Svi su otpornici po 100 Ω sa opteretivošću od po 0,5 W svaki. Oni su montirani (sl. 9-81) direktno na preklopnik tako da svi spojevi budu što kraći.

Atenuator s četiri obična dvopolna preklopnika, koji omogućuje oslabljivanje signala u stupnjevima po 3 dB sve do 33 dB, vidimo na sl. 9-82 i 9-83. Željeni stupanj atenuacije postiže se jednostavnim prebacivanjem jednoga ili više preklopnika.

Svaki od ovih atenuatora može se sagraditi kao posebna jedinica koja se stavlja ispred bilo kojeg prijemnika. Moguće ih je ugraditi u sam prijemnik.

Takav dodatak je osobito koristan i ispred onih prijemnika koji uopće nemaju mogućnosti regulacije visokofrekventne osjetljivosti kao što su manji superheterodini ili čak mali prijemnici s povratnom vezom. Stavimo li visokofrekventni atenuator ispred nekog velikog, kvalitetnog i osjetljivog prijemnika,



Sl. 9-83. *Otpornici atenuatora (sl. 9-82) montirani su direktno na dvopolne preklopničke. Vanjski pleteni oklop koaksijalnog kabla je s obje strane raspleten i rastavljen u dva dijela, od kojih je jedan uzemljen s jedne, a drugi s druge strane prvog i posljednjeg preklopnika*

bit će moguće služiti se velikom resonantnom antenom i tako u svakom slučaju osigurati vrlo dobar i nesmetan prijem uz najpovoljniji odnos signala prema šumu.

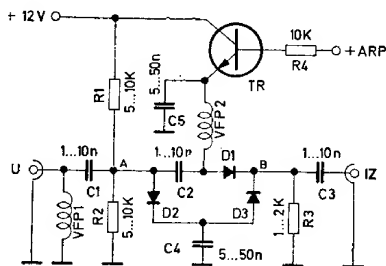
Atenuator s PIN diodama

Pod nazivom PIN diode poznate su u elektronici posebne diode koje se upotrebljavaju kao prekidači i kao promjenljivi otpornici. Načinjene su tako da se između poluvodičkog sloja, koji ima vodljivost P-tipa i sloja sa vodljivošću N-tipa, ostavi tanak sloj čistog poluvodiča, bez dodataka. Takav sloj se označuje slovom *I* (engl. intrinsic = pravi, onakav kakav je sam po sebi). U nazivu tih dioda slova P-I-N označuju redoslijed kojim se ti slojevi nižu u poluvodiču diode.

Dok nema prednapona (ili uz male zaporne prednapone koji ne premašuju Zenerov, probojni napon) dioda ne vodi električnu struju i ponaša se kao *kondenzator stalnog kapaciteta* (!). Da taj kapacitet bude što manji i »geometrija« poluvodičke pločice je redovito vrlo malena.

Uz napon propusnog polariteta, dioda propušta struju. Pritom se ona ponaša kao *promjenljivi otpornik*. Njen otpor ovisi o veličini električnog napona.

Na sl. 9-84 je shema atenuatora s PIN diodama, D_1 , D_2 i D_3 . Na ulaz

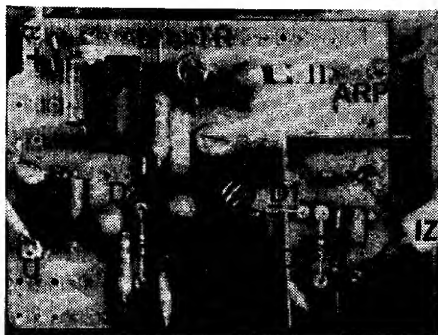


Sl. 9-84. *Atenuator s diodama koji se može spojiti sa automatskom regulacijom pojačanja (ARP). Opis u tekstu*

atenuatora *U* priključuje se antenski koaksijalni kabel. Izlaz atenuatora *IZ* također je koaksijalnim kabelom spojen sa antenskom priključnicom prijemnika.

Napon napajanja (+12 V) dijeli se otpornicima R_1 i R_2 , pa je u tački *A* potencijal niži. Ako je i baza tranzistora *TR*, preko R_4 , spojena na visok napon (+10 do 12 V), tranzistor je »otvoren«. Kroz njega teče struja i nastavlja preko visokofrekventne prigušnice *VFP*₂, kroz diodu D_1 i otpornik R_3 . Potencijal u tački *B* je viši od potencijala u tački *A*. Tako su diode D_2 i D_3 izložene djelovanju ove razlike potencijala koja je za njih *zaporna*. Dioda D_2 i D_3 ostaju »zatvorene«.

Ako struja baze tranzistora *TR* postaje slabija, onda se smanjuje i jakost struje koja teče kroz D_1 . Ot-



Sl. 9-85. Izgled diodnog atenuatora, ugrađenog u amaterski prijemnik. Najvažniji sastavni dijelovi označeni su kao i na sl. 9-84

por ove diode postaje veći sve dok potencijal u B postane manji od potencijala u A . Tada se dioda D_1 zatvori, a diode D_2 i D_3 počnu voditi. Njihov otpor se smanjuje i one sve više, preko C_4 , odvođe VF napone smanjujući jakost signala na izlazu atenuatora.

Kako se vidi već iz same oznake +ARP, funkcijom atenuatora može upravljati isti napon kojim se postiže automatska regulacija pojačanja u prijemniku.

Takav atenuator s diodama može se ugraditi u sam prijemnik, vidi sl. 9-85. Kako se vidi na toj slici, raspored dijelova atenuatora odgovara rasporedu na shemi (sl. 9-84). Budući da nismo imali PIN diode, upotrebili smo male, visokofrekventne silicijeve diode s malim vlastitim kapacitetima. Atenuator je i bez PIN dioda vrlo dobro radio. On već na ulazu prijemnika priguši one najjače signale koji bi mogli dovesti do unakrsnih modulacija u prijemniku. Prijemnik sa ugrađenim atenuatorom bolje »podnosi« jake signale i automatska regulacija pojačanja (ARP) postaje »energičnija« i bolja.

Izbor prigušnica (VFP_1 i VFP_2) mora odgovarati opsegu frekvencija koje želimo obuhvatiti prijemnikom. Budući da diodni atenuator ima nisku impedanciju, vi-

sokofrekventne prigušnice ne moraju imati osobito velike induktivitete. Na slici se vidi da smo upotrebili feritne prigušnice koje imaju po 6 rupica u jezgri.

Atenuator nam je, sa silicijevim diodama, sasvim zadovoljavajuće radio na kratkim valovima, ali također u UKV području, sve do 146 MHz. Atenuator smo konačno ugradili u dvometarski prijemnik, pa je VFP_2 u toj verziji bila načinjena upravo za taj opseg (45 cm na promjeru od 3 mm!).

Visokofrekventno pojačalo i preselektor za sve kratkovalne frekvencije od 3,3 do 33 MHz

Ima mnogo prijemnika koji na svojim skalama imaju različita kratkovalna područja. Ima ih i takvih koji se nazivaju »komunikacijskim« prijemnicima, pa obuhvaćaju čak svih pet amaterskih opsega, sve do 30 MHz. Dobar prijem, međutim, postoji samo na relativno niskim frekvencijama, na 3,5 i na 7 MHz. Na 14 MHz je prijem već slabiji, dok se na 21 i 28 MHz gotovo nikad ništa ne čuje. Takvim prijemnicima se može mnogo pomoći, ako se ispred njih stavi dodatno visokofrekventno pojačalo. Osjetljivost će postati znatno bolja. Takvo pojačalo popravljiva i ulaznu selektivnost, povećava sigurnost od zrcalnih frekvencija, a često poboljšava i odnos signala prema šumu. Nazivaju ga preselektorom.

Ovdje opisani preselektor je vrlo jednostavan i jeftin, nije ga teško sagraditi, a obuhvaća bez upotrebe valnog preklopnika, s jednom jedinom zavojnicom, sve kratkovalne frekvencije od 3,3 do 33 MHz.

Shematski prikaz takvog preselektora vidimo na sl. 9-86. Ulazni titrajni krug je modifikacija poznatog spoja firme »Collins« koja ga je primjenila u predajnicima. Promjenljivi kondenzator kojim se odbire željeno područje je dvostruk. On ima kapacitet 2×480 ili 2×500 pF

tora, ono kojim se okreće promjenljivoj kondenzator, treba postaviti na maksimalnu glasnoću prijema.

Tranzistor TR_1 je bilo koji visokofrekventni FET. TR_2 je silicijev P-N-P tranzistor, npr. BC 177 ili BF 272 ili bilo koji slični.

Visokofrekventna prigušnica VFP je mala prigušnica za kratke valove. Nju treba staviti samo onda ako nam je potrebno veće pojačanje na frekvencijama između 20 i 30 MHz, ali i bez nje je pojačanje dobro.

Diode D_1 i D_2 su visokofrekventne silicijeve diode. Njih se, u *antiparalelnom* spoju, mora dodati samo onda, ako takav preselektor stavljamo ispred prijemnika uz neki predajnik. Diode čuvaju FET od preterećenja. Ako nema predajnika onda diode ne treba stavljati.

Antena A se spaja na preselektor. Priključnica A' na njegovom izlazu spaja se preko koaksijalnog kabela na antensku priključnicu prijemnika.

NISKOFREKVENTNI FILTERI ZA POVEĆANJE SELEKTIVNOSTI

Niskofrekventni filter za prijem telegrafije povećava selektivnost prijema, potiskuje neželjene signale i šumove, a izdiže telegrafski signal određene niske frekvencije koji upravo želimo primati.

Za dobru razumljivost govora dosta je da niske frekvencije obuhvate područje između 300 i 3000 Hz. Zato niskofrekventni filter koji propušta samo ove frekvencije može mnogo olakšati radio-prijem telefonije, osobito SSB-signal. On oslabljuje šumove i sve frekvencije izvan tog najnužnijeg opsega.

Takvi niskofrekventni filteri mogu se i *naknadno* dodati svakom prijemniku, najbolje *odmah* iza demodulatora, a prije ulaza u niskofrekventno pojačalo. Ako to nije moguće ili ako nije preporučljivo, osobito u prijemnicima tvorničke proizvodnje, filter se može dodati tako da se sroji na priključnicu za slušalice.

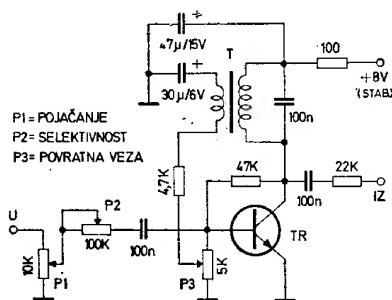
Niskofrekventni filter s jednim tranzistorom

U sovjetskom časopisu »**RADIO**« opisan je prije više godina niskofrekventni filter u kojemu je upotrebljen samo jedan tranzistor. Sagrađili smo ga i pokazao je vrlo dobra svojstva. Shema je na sl. 9-88. Radi se o pravom amaterskom rješenju toga problema.

Transformator T je niskofrekventni pobudni (»drajverski«) transformator iz malog tranzistorskog radio-prijemnika kakvih se lako može naći i u amaterskom »skladištu« otkuda amater povremeno vadi stare dijelove koje treba (HI). Njegov namotaj koji ima više zavoja (i veći omski otpor!) spaja se u kolektorski strujni krug. Sekundarna strana takvog transformatora može imati i srednji odvojak pa će biti potrebno pokusom ustanoviti šta je bolje, upotrebiti cijelu ili samo polovicu tog namotaja.

Ulazni signal »dozira« se potencijetrom P_1 . On određuje pojačanje. Potencijetmar P_2 je također važan. Ako je njegov otpor velik, selektivnost je također velika. Smanjujući otpor na P_2 možemo selektivnost smanjiti toliko da filter postane dovoljno širok i za prijem telefonije.

Treći potencijetmar, P_3 , regulira stupanj povratne veze koja mora biti pozitivna. To znači da će, ako



Sl. 9-88. Jednostavan niskofrekventni filter za različite primjene. Vidi tekst

je dovoljno povećamo, doći do osciliranja na niskoj frekvenciji koja je određena induktivitetom zavojnice transformatora u kolektorskom strujnom krugu i kapacitetom kondenzatora koji je s njom paralelno spojen (100 nF). Treba nastojati da ta frekvencija bude negdje između 800 i 1000 Hz. Ne pojave li se oscilacije, treba međusobno zamijeniti priključne žice na onoj zavojnici koja služi za povratnu vezu. Visinu tona, koji se čuje kad se pojave oscilacije, možemo odabrati mijenjanjem kapaciteta kondenzatora u našem »kolektorskom titrajnom krugu«.

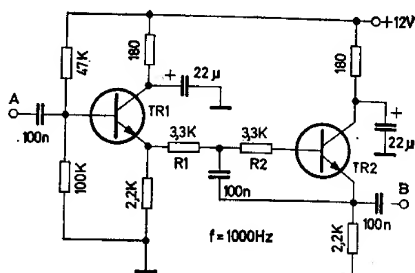
Napon napajanja mora biti stabiliziran.

U jednom od prijemnika je, kod YU2BR, takav filter ugrađen odmah iza demodulatora. Potenciometri su »jednom za svagda« ostavljeni u takvim položajima da je propusni opseg filtera dovoljan za prijem SSB-telefonije. Takav služi i za telegrafiju.

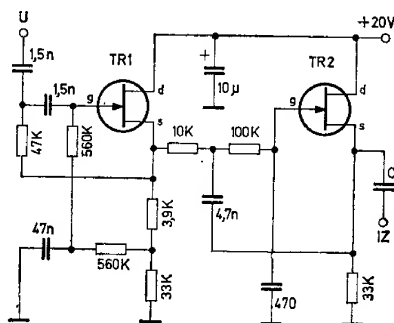
Filteri sa RC-mrežama

Jednostavniji su za upotrebu filteri kojima se ne mora regulirati povratna veza, koji koriste svojstva RC-mreža. To su »mreže« sastavljene od otpora i kapaciteta, kao na sl. 9-89.

Tranzistori TR_1 i TR_2 su obični silicijevi. Međusobno su galvanski (direktno) povezani preko otpornika R_1 i R_2 . Kondenzatorima je ograničen opseg niskih frekvencija koje pojačalo propušta. Pojačanja ovdje nema, ili da se matematički izrazimo: pojačanje iznosi 1. Ulazni i izlazni naponi su jednaki budući da su oba stupnja načinjena kao emitterska slijedila (»emiter-follower«). Srednja frekvencija je oko 1000 Hz. Ona je sa najvećom amplitudom. Ostale frekvencije su više ili manje oslabljene. Želimo li da srednja frekvencija bude jače istaknuta, tj.



Sl. 9-89. Selektivno niskofrekventno pojačalo sa bipolarnim tranzistorima



Sl. 9-90. Selektivno niskofrekventno pojačalo sa unipolarnim tranzistorima (FET)

da selektivnost bude veća, potrebno je nanizati više takvih filterskih članova (svaki s dva tranzistora!) jedan za drugim. Što ih više stavimo u takav niz to će selektivnost biti veća.

Takav se filter može načiniti i sa FET-ima, sl. 9-90. Njihove su impedancije znatno više. Zato i vrijednosti dijelova u RC-filteru moraju biti drukčije, što se vidi na slici.

Operacijska integrirana pojačala u aktivnim NF filterima

Operacijska integrirana pojačala često se upotrebljavaju u niskofrekventnim filterima. U principu

je takav filter na sl. 9-91. Za gradnju filtera postoje raznolike mogućnosti, kao što je različito pojačanje signala, različit Q-faktor i različita srednja frekvencija. Preveliko pojačanje i velik Q-faktor se obično izbjegavaju jer onda filter »zvoni«. Signali se, osobito kod brže telefonije, slijevaju jedan u drugi i postaju teško čitljivi.

Da se postignu određene karakteristike filtera treba ići slijedećim redom:

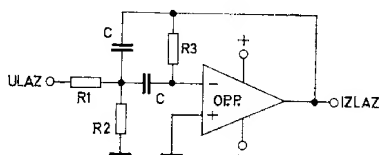
- kao prvo treba odabrati pojačanje p (npr.: 2),
- odabrati Q-faktor (npr.: 5),
- odlučiti se za neku srednju frekvenciju f (npr.: 800 Hz),
- izračunati tzv. kružnu frekvenciju: $\omega = 2\pi f$.
- odabrati (za pokus) kapacitet C (npr.: 22 nF),
- gornje vrijednosti uvrstiti u formule;

$$R_1 = \frac{Q}{P_{\text{ф}} C},$$

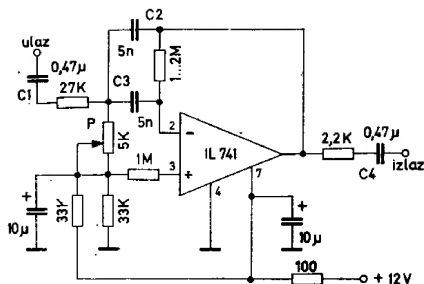
$$R_2 = \frac{Q}{(2Q^2 - P)\omega C},$$

$$R_3 = \frac{2Q}{\omega C}$$

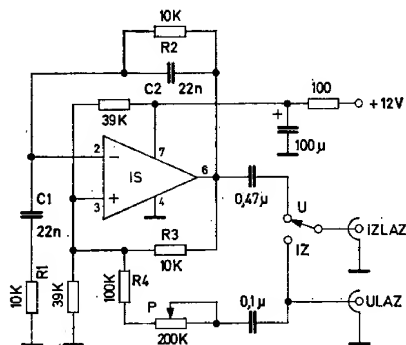
i izračunati vrijednosti za otpornike. Računom izlazi za $R_1=22,6 \text{ k}\Omega$,



Sl. 9-91. Principijelna shema selektivnog NF pojačala sa operacijskim pojačalom (OP.P). Za frekvenciju od 800 Hz, uz pojačanje 2, Q-faktor 5 i $C = 22 \text{ nF}$; $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$. Postupak za računanje je u tekstu



Sl. 9-92. Niskofrekventni filter s promjenljivom frekvencijom



Sl. 9-93. Selektivni niskofrekventni filter s promjenljivim Q-faktorom

$R_2=942 \text{ } \Omega$, $R_3=90,4 \text{ k}\Omega$. Najbliže vrijednosti optornika će biti: $R_1=22 \text{ k}\Omega$, $R_2=1 \text{ k}\Omega$, $R_3=91 \text{ k}\Omega$ ili $100 \text{ k}\Omega$. Ovim zaokruživanjem srednja frekvencija možda neće biti precizno 800 Hz , ali ni previše daleko od toga. Za praktičnu primjenu bit će dobro.

Da smo dobili neke »egzotične« vrijednosti za te otpore, koje se ne mogu lako zaokružiti na postojeće, standardne vrijednosti, morali bismo, opet za slijedeći pokus, uzeti ponešto drukčije vrijednosti za kapacitet C i ponoviti račune, sve dok ne postignemo takve vrijednosti otpora koje su blizu vrijednostima koje se mogu nabaviti. Otpornici neka budu *barem 5-postoyni*.

Nekad je zgodno da se svojstva filtera mogu mijenjati prema po-

trebi. Tako se kod filtera, sl. 9-92, može potenciometrom *P* mijenjati srednja frekvencija i tako izdvojiti određeni signal između drugih signala kojima je frekvencija različita od onog koji primamo.

Na sl. 9-93 je shema filtera koji se može ili uključiti ili isključiti. Osim toga se potenciometrom *P* (200 k Ω) lako mijenja *Q*-faktor a time i selektivnost filtera. Integrirani sklop *IS* opet je neko operacijsko pojačalo (npr. IL 741).

Kompletno niskofrekventno pojačalo, koje bi se moglo ugraditi u amaterski prijemnik sa direktnom konverzijom, prikazuje sl. 9-94. Ono se sastoji od tri stupnja. U niskofrekventnom pretpojačalu, koje dolazi odmah iza demodulatora, pojača se primljeni signal. Od kolektora tranzistora *TR* se put signala račva. On, preko kondenzatora od 5 μ F, odlazi na jedan od kontakata preklopnika *FL*. Istovremeno, preko kondenzatora od 1 nF signal ide u filterski sklop sa operacijskim pojačalom, koje iz smjese zvukova izdvaja frekvenciju od 700 Hz. Signal te frekvencije stiže na drugi kontakt istog preklopnika *FL*. Ovim preklopnikom možemo birati ili nefiltrirani ili filtrirani signal.

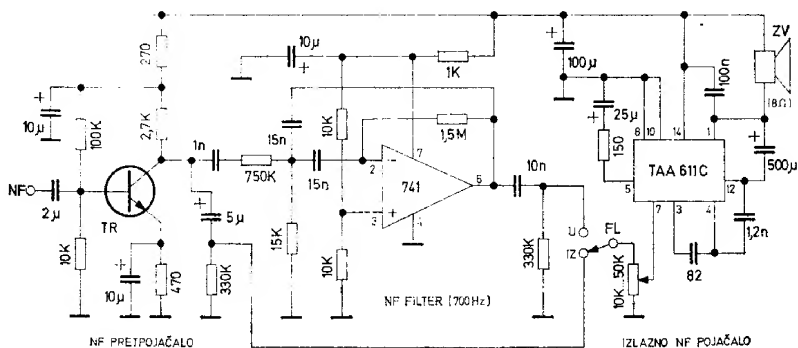
Ispred integriranog sklopa TAA-611-C je potenciometar za regulaciju glasnoće, a iza njega se može priključiti zvučnik. Razumije se da

će na izlazu ovakvog niskofrekventnog pojačala moći poslužiti i neki drugi integrirani sklop.

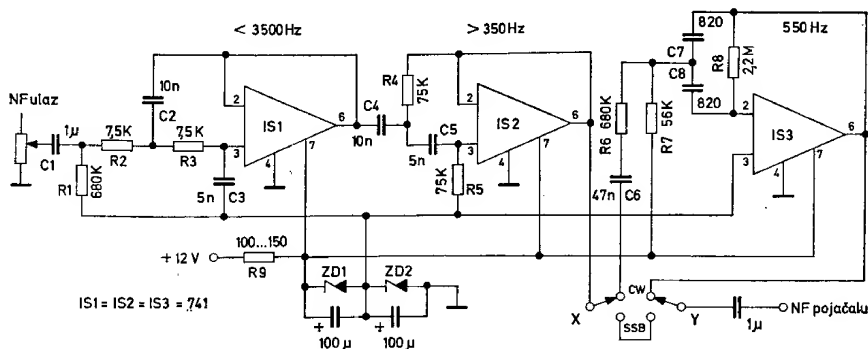
Želimo li da nam ne budu filtrirani samo telegrafski znakovi, već da i za SSB-signale imamo optimalnu selektivnost i u niskofrekventnom pojačalu, možemo u prijemnik koji gradimo staviti dvojni filter, prema sl. 9-95. Upotrebljena su ukupno tri operacijska pojačala tipa 741. Od njih prva dva formiraju pravi bandfilter. Prvi stupanj, sa integriranim sklopom *IS*₁, propušta frekvencije koje su manje od 3500 Hz. Drugi stupanj, sa *IS*₂, propušta frekvencije koje su veće od 350 Hz. Prema tome će do kontakta *X* dvostrukog preklopnika stići samo frekvencije između 350 i 3500 Hz.

U položaju preklopnika *X/Y*, koji je nacrtan na sl. 9-95, uključen je i treći stupanj filtracije, sa integriranim sklopom *IS*₃. Ovaj je najselektivniji. On najbolje propušta frekvencije oko 550 Hz. Takva visina tona je mnogim telegrafistima vrlo ugodna za primanje. Tada, preko kondenzatora od 1 μ F, dalje — u NF pojačalo — odlazi trostruko filtriran telegrafski signal.

Prebacimo li preklopnik *X/Y* u njegov drugi položaj, imat ćemo optimalnu filtraciju za govorne frekvencije.



Sl. 9-94. Niskofrekventno pojačalo za prijemnike s direktnom konverzijom



Sl. 9-95. NF pojačalo za prijem CW i SSB signala. Vidi tekst

Filter nije teško sagraditi. Treba se samo držati rasporeda na shemi, izabrati sastavne dijelove koliko je moguće tačnijih vrijednosti i paziti da obje Zenerove diode, ZD_1 i ZD_2 , budu podjednake (za 4,7 ili 5,1 V).

Savremena verzija filtera »selektobjekt«

Pod imenom »*selektobjekt*« (čitaj kako piše!) bilo je među amaterima poznato pojačalo sa elektronskim cijevima koje je svoje ime dobilo prema dvije latinske riječi: *selekcija* = izabiranje i *rejekcija* = odbacivanje. To je bila sprava koja je omogućavala da se iz smjese različitih niskih frekvencija izabere neka koju trebamo ili da se frekvencija koja nam smeta utiša. U ranijim izdanjima ovoga priručnika bio je takav selektobjekt opisan (s dvije dvostruke triode ECC 83).

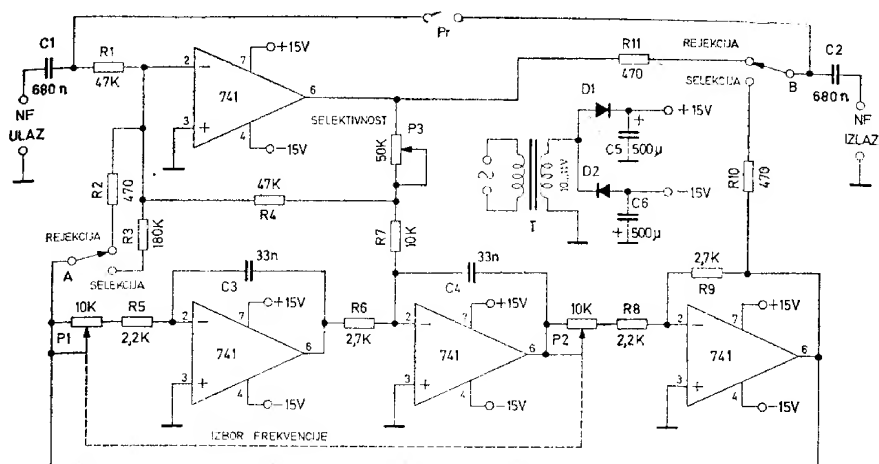
Radio-amateru DJ6HP duguje-
mo savremenu verziju takvog filte-
ra, sl. 9-96. Upotrebljena su četiri
integrirana operacijska pojačala
tipa 741. Umjesto njih moglo bi se
uzeti i dva dvostruka operacijska
pojačala, ali njih je teže nabaviti.
Oznake na slici vrijede za *pojedi-
načne integrirane sklopove* a ne za
dvostruke.

Dvostruki preklopnik A/B omogućuje nam da odaberemo rejekciju neke frekvencije (npr. da potisnemo neki interferentni ton koji nam smeta kod prijema SSB-sig-nala) ili da selekcijom izdignemo neki telegrafski ton koji želimo nesmetano čuti.

Frekvencija se u oba slučaja može birati dvostrukim potencijometrom $P_1 + P_2$ ($2 \times 10 \text{ k}\Omega$). Potencijometar P_3 služi za mijenjanje *selektivnosti* i kod rejekcije i kod selekcije.

Ako se prekidač Pr zatvori, ulaz je direktno spojen sa izlazom i uređaj je isključen.

Za pogon ovog filterskog uređaja potrebna su dva napona: jedan pozitivan (+15 V) i jedan negativan (−15 V). Njih možemo postići na različite načine. Najjednostavniji je onaj koji je nacrtan. Transformator T je svojom primarnom stranom spojen s mrežom izmjenične struje (220 V). Na sekundarnoj strani treba da daje napon od 10 do 11 V. Ovaj se ispravlja diodama D_1 i D_2 tako da svaka od njih nabija svoj elektrolitski kondenzator: dioda D_1 kondenzator C_5 ; dioda D_2 kondenzator C_6 . Kapacitet ovih kondenzatora ne smije biti manji od 500 μF da filtracija bude dovoljna. Ona može biti dovoljna obzirom na to da je potrošak struje za



Sl. 9-96. »Selektobjekt« s integriranim sklopovima, prema DJ6HP

sva četiri operacijska pojačala vrlo malen. Tko želi, može primijeniti i stabilizaciju Zenerovim diodama u nekom drukčijem ispravljaču, ali to

nije bezuvjetno potrebno, jer i ova-ko neće biti brujanja. Samo pojačalo nije osjetljivo na frekvenciju od 50 Hz!

UKV PRIJEMNICI

O NEKIM SPECIFIČNOSTIMA UKV TEHNIKE

Ultravisoke frekvencije i ultrakratki valovi

Radio-amaterski 10-metarski opseg (28 do 29,7 MHz) je baš na prelazu od kratkih prema ultrakratkim valnim dužinama. Naziv »ultrakratki valovi« dobili su svi elektromagnetski valovi kojima je dužina vala kraća od 10 metara, odnosno kojima je frekvencija viša od 30 MHz.

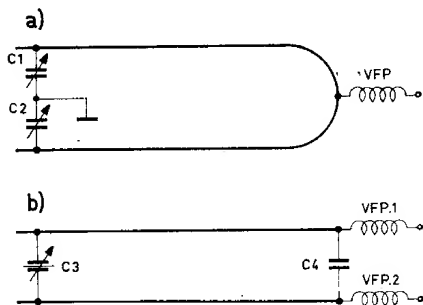
Ultrakratkovalno ili, kraće, UKV područje dijeli se na područje *metarskih* valova (30 do 300 MHz ili 10 do 1 m), *decimetarskih* valova (300 do 3000 MHz ili 100 do 10 cm), *centimetarskih* valova (3000 do 30000 MHz ili 10 do 1 cm) i *milimetarskih* valova (iznad 30000 MHz, kraći od 1 cm). Na ove posljednje se već nadovezuje područje toplinskih i infracrvenih zraka.

Osim kratice »UKV« u Jugoslaviji je za isto područje također udomaćena i kratica »UKT« (ultrakratki talasi). U literaturi mogu se naći još i kratice »VHF« (Very High Frequency) za metarske, »UHF« (Ultra High Frequency) za decimetarske i »SHF« (Super High Frequency) za centimetarske valove. Prema tome amaterski dvometarski opseg (144 MHz) pripada VHF području, a sedamdeset-centimetarski (432 MHz) i 23-centimetarski opseg (1296 MHz) u UHF područje ultrakratkih valova (tablica 26-1, str. 775).

Titrajni krugovi za ultravisoke frekvencije

Dok u 10-metarskom amaterskom opsegu (28 MHz) još služe zavojnice u titrajnim krugovima, mogu se u dvometarskom opsegu naći — osim zavojnica — posebno formirani, tzv. Lecherovi (čitaj: Leherovi) vodovi.

Lecherov vod, načinjen od komada debele bakrene žice ili bakrene cijevi, savinute u petlju, kao slovo U, koji služi umjesto zavojnice titrajnog kruga, vidimo na sl. 10-1a. Na otvorenom kraju ove petlje je dvostruki promjenljivi kondenzator C_1/C_2 . Rotori su uzemljeni, a statori su u kontaktu sa Lecherovim vodom, pa je tako načinjen titrajni krug u kojemu je djelotvorna vrijednost kapaciteta jednaka polovici kapaciteta pojedinog kondenzatora.

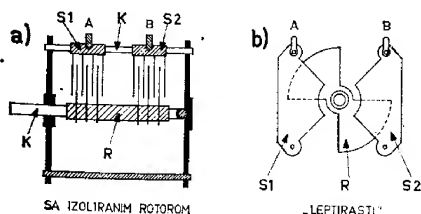


Sl. 10-1. Titrajni krugovi za UKV kod kojih je »leherovski vod« upotrebljen umjesto zavojnice: a) sa galvanskim i b) sa kapacitivnim kratkim spojem na »hladnom« kraju

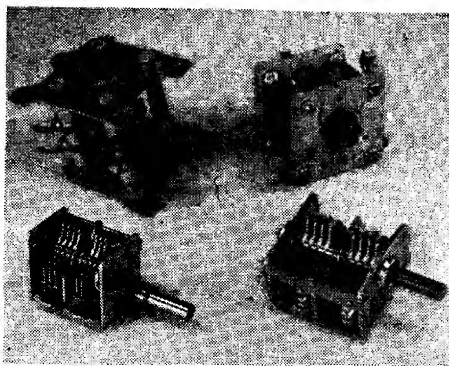
Na sl. 10-1b je malo drugačiji Lecherov vod. Ovaj se sastoji od dvije metalne šipke, postavljene paralelno jedna uz drugu na međusobnoj udaljenosti od 1 do 3 cm. Kondenzator C_3 je specijalni promjenljivi kondenzator za UKV koji ima jedan zajednički neuzemljeni rotor i dva statora. On ima maksimalni kapacitet od samo nekoliko pF, za razliku od kondenzatora C_4 koji je stavljen na drugi kraj Lecherovog voda i koji mora imati kapacitet toliko velik da za radnu frekvenciju predstavlja »visokofrekventni kratki spoj« (200 do 2000 pF).

Tipični promjenljivi kondenzator za UKV titrajne krugove, sa dva statora (S_1 i S_2) i zajedničkim, izoliranim rotorom (R) na keramičkoj osovinu (K) prikazan je na sl. 10-2a. Nazivaju ga još i »split-stator« kondenzatorom, jer mu je stator razdijeljen u dva dijela. Osim ovoga poznat je i »leptirasti« kondenzator (sl. 10-2b). I on ima jedan zajednički rotor R za dva statora. Sam rotor može biti ili na keramičkoj ili na metalnoj osovinu. U prvom slučaju rotor je izoliran, dok se u drugom može uzemljiti.

Četiri tipična UKV promjenljiva kondenzatora vidimo na sl. 10-3. Lijevo gore je tzv. »split-stator« kondenzator, desno gore je »leptirasti« kondenzator (»butterfly«). Ispod ovih su dva dvostruka promjenljiva kondenzatora od po 2×10 pF kapaciteta, od kojih lijevi ima ugrađene zupčanike za prenos 1:3.



Sl. 10-2. Dvije vrste specijalnih promjenljivih kondenzatora za UKV: a) sa izoliranim rotorom; b) tzv. »leptirasti« (butterfly)



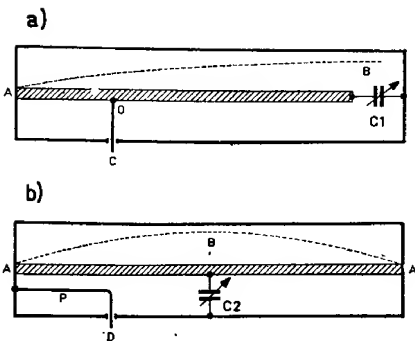
Sl. 10-3. Četiri tipična promjenljiva kondenzatora za UKV

Titrajni krugovi koji su sastavljeni od zavojnice ili od Lecherovog voda i kondenzatora pokazuju kod sve viših frekvencija sve lošija svojstva: loš Q -faktor i sve manje i sve nespretnije dimenzije. Zato ih se kod frekvencija decimetarskih valova, kao i kod još viših, zamjenjuje različitim šupljim resonatorima.

Cilindrična ili prizmatična metalna posuda izduženog oblika, koja u svojoj unutrašnjosti ima uzdužnu metalnu šipku ili cijev, lako se dovodi u intenzivnu resonanciju na UKV frekvencijama. To su tzv. koaksijalni resonatori ili koaksijalni titrajni krugovi. Na sl. 10-4a je takav četvrtvalni, a na sl. 10-4b poluvalni resonator. Prvome je dužina malo manja od četvrtine dužine vala. Fino ugađanje frekvencije postiže se kondenzatorom malog kapaciteta C_1 . Kod A je naponski »čvor«, a kod B je naponski »trbuh« oscilacija.

Poluvalni resonator (sl. 10-4b) resonira kod približno jednakih geometrijskih dimenzija na dvostruko višu frekvenciju nego četvrtvalni. Kod A s obje strane resonatora su naponski »čvorovi«, dok je naponski »trbuh« u sredini, kod B . Za fino ugađanje frekvencije služi promjenljivi kondenzator malog kapaciteta C_2 .

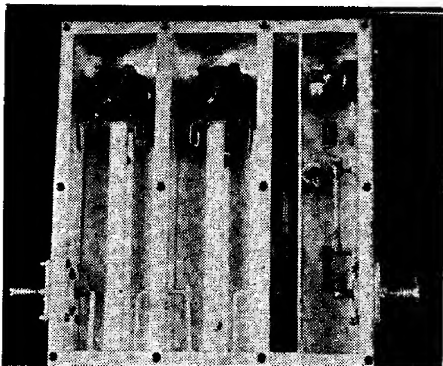
Veza s rezonatorom može biti različita, npr. pomoću odvojka na



Sl. 10-4. Primjeri koaksijalnih resonatora koji na UKV često služe umjesto klasičnih titrajnih krugova: a) četvrtvalni i b) poluvalni resonator. C_1 i C_2 su kapaciteti za ugađanje

unutrašnjoj šipki, O na sl. 10-4a, ili pomoću posebne petlje P (sl. 10-4b).

Pogled u unutrašnjost takvih koaksijalnih titrajnih krugova omogućuje nam sl. 10-5. Ovdje vidimo dva takva titrajna kruga koji su u međusobnoj induktivnoj vezi pomoću petlje od debele žice. Ugađaju se promjenljivim kondenzatorima koji se vide gore, na kraju srednjeg voda. Cijela unutrašnjost je posrebrana da gubici kod tih vrlo visokih frekvencija (oko 400 MHz, ka-



Sl. 10-5. Pogled na koaksijalne titrajne krugove u »profesionalnom« UKV pojačalu (432 MHz) »UHF-04« (»Iskra-Kranj«)

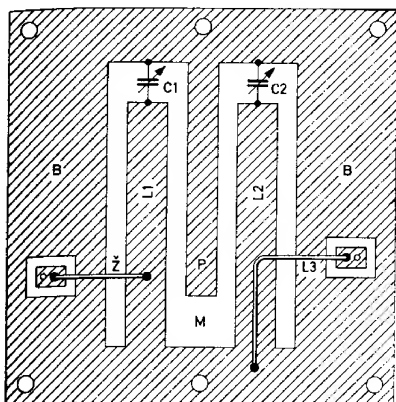
paciteti prepravljeni za amaterski opseg od 432 MHz) budu što manji.

Za amatere je gradnja ovakvih koaksijalnih resonatora, u pravilu, prekomplikirana. Bez alatnih strojeva ne može se načiniti onako, kako to tvornice rade. Jednostavnije je poslužiti se sličnim titrajnim krugovima, koji su jednostavno »naštampani« na, bakrenom folijom obloženoj (kaširanoj), pločici. Sama pločica mora biti načinjena od dobrog izolacijskog materijala. *Kaširani pertinaks ne dolazi u obzir* jer su u njemu gubici kod UKV-frekvencija vrlo veliki. Pločice, načinjene od »vitroplasta« su već znatno bolje. Ima i boljih od ovoga, kao što je npr. kaširani »teflon«, ali takvi su materijali za amatere (svuda u svijetu!) gotovo nedostižni. Amater će se redovito zadovoljiti pločicama od kaširanog vitroplasta (»Donit«, Kamnik). Naziv dolazi od francuskog: cacher (čit. kaše) = sakriti, prekriti.

U principu, na sl. 10-6, vidimo kako mogu biti načinjeni štampani titrajni krugovi. Bakrena folija (tj. tanak sloj) označena je slovom B . Sa L_1 i L_2 označena su dva traka koji odgovaraju srednjim vodovima kod koaksijalnih resonatora. Njih se na željenu frekvenciju ugađa malim promjenljivim kondenzatorima C_1 i C_2 . Metalni »jezičac« P ima ulogu pregrade između ta dva titrajna kruga. Međusobna veza titrajnih krugova L_1C_1 i L_2C_2 je osigurana slobodnim prostorom M na pločici. To je dovoljno da se ostvari induktivna međusobna veza. Takvi titrajni krugovi služe onda kao bandfilter.

Veza sa ostalim dijelom aparature može biti načinjena na više načina, od kojih su dva naznačena na sl. 10-6. Jedan je pomoću debele žice Z , zalemljene izravno na trak L_1 , bliže njegovom »hladnom kraju« (na slici dolje). To odgovara odvoju na zavojnici.

Drugi način (na slici desno) je induktivan. Za induktivnu vezu



Sl. 10-6. Titrajni krugovi za UKV koji su »štampani« na pločici od vitroplasta, kaširanoj tankim slojem bakra. — Vidi tekst

ovdje služi žičana »petlja« L_3 . Ona je jednim svojim krajem zalemljena uz hladni kraj traka L_2 i ide uzduž njega određenim dijelom dužine, da onda »ode« udesno na priključnicu koja je načinjena u obliku »otoka« na bakrenom sloju. I spojna žica Z , kao i petlja L_3 , nigdje se ne dotiču bakrenog sloja. One su zalemljene samo na svojim krajevima.

Utjecaj šumova na prijem UKV

Nepravilno gibanje, tzv. *termički nemir*, elektrona u anteni i u različitim strujnim krugovima prijemnika proizvodi male, nepravilne naponne koji se očituju kao posebna vrsta šumova. Ovi šumovi su neovisni o frekvenciji, a intenzitet im je proporcionalan sa apsolutnom temperaturom, sa termogenom komponentom impedancije u kojoj nastaju, te sa širinom propusnog pojasa prijemnika.

U elektronskim se cijevima, osim ovoga, javlja šum uslijed nepravilnosti toka elektrona. Kroz elektroniku cijev teku pojedini elektroni u roju, pa njihova gustoća nije posvu-

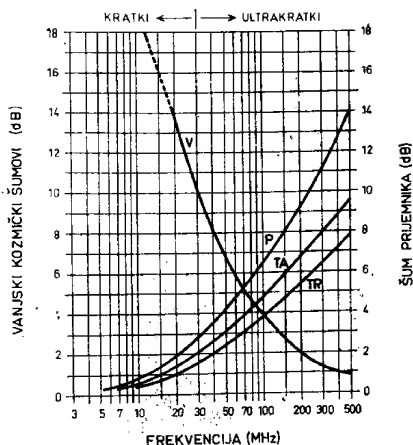
da sasvim stalna. I raspodjela elektrona između anode i zaštitne mrežice kod pentoda nije konstantna, što također dovodi do nepravilnosti i do neprestanog nemira anodne struje. Ovo se ne može primjetiti na kazaljci kojom, npr. mjerimo jakost anodne struje, ali se — iza dovoljnog pojačanja — opaža kao šum. Ovu vrstu šuma u elektronskim cijevima često izražavaju pomoću tzv. *ekvivalentnog otpora šuma*. To bi bila ona vrijednost otpora (kod sobne temperature) koja bi, stavljena u strujni krug prve mrežice idealne elektronske cijevi bez šuma, proizvela u anodnom strujnom krugu jednak šum kao i određena realna cijev. Ekvivalentni otpor šuma (R_{eq}) za triode ima vrijednost obično između 200 i 500 Ω , za pentode 500 do 5000 Ω a za cijevi sa više mrežica u stupnjevima za miješanje 10 do 100 k Ω .

Tranzistori su u početku bili izvor znatnih šumova. Moderni tranzistori su, zahvaljujući znatno poboljšanoj tehnologiji proizvodnje, u pogledu šuma mnogo bolji od elektronskih cijevi. Vrlo malen šum kod savremenih tranzistora može se, uz ostalo, teoretski objasniti znatno nižom radnom temperaturom tranzistora.

Idealan prijemnik bio bi onaj u kojemu ne bi bilo nikakvih izvora dodatnih šumova. Najslabiji signal koji bi se tada mogao primiti bio bi ograničen samo još termičkim nemirom elektrona u anteni.

U nekom realnom prijemniku je ova granica određena iznosom za koji može pojačani antenski šum nadjačati ostale šumove u strujnim krugovima *prvog stupnja* prijemnika. Pri tome se smatra da prvi stupanj najviše doprinosi šumu cijelog prijemnika i da se utjecaj ostalih stupnjeva može zanemariti. Signal je zajedno sa šumom već iza prvog stupnja toliko pojačan da šum ostalih stupnjeva redovito ne predstavlja značajan dodatak.

Kad bismo mogli neki dobar prijemnik zajedno sa antenom posta-



Sl. 10-7. Ovisnost vanjskih (V), tzv. »automatskih« ili »kozmičkih« šumova, o frekvenciji. Preostale tri krivulje pokazuju kako ovisi šum prijemnika o frekvenciji ako se na njegovom ulazu nalazi pentoda (P), trioda (TA), ili tranzistor (TR). Danas ima specijalnih tranzistora koji daju još manji šum!

viti daleko od prometa i daleko od ostalih električnih instalacija, onda ne bismo više čuli smetnje od automobila, različitih električnih motora i drugih uređaja. Preostale bi samo tzv. »atmosferske« smetnje, pa i onda kad nadaleko nema nikakve grmljavinske oluje. U svakom slučaju bi preostale barem one smetnje i šumovi, koje nazivaju i »kozmičkim« šumom. Ovaj »vanjski« šum je kod frekvencija ispod 20 ili 30 MHz redovito znatno jači od šuma u prijemniku. Na sl. 10-7 krivulja V prikazuje ovisnost »kozmičkog« šuma o frekvenciji.

Koliko se neki realni prijemnik po svojim svojstvima približuje idealnom prijemniku koji ima jednaku širinu propusnog pojasa, određuje se »faktorom šuma« ili »šumnim brojem« (F). To je odnos između snage šuma koji proizvodi određeni prijemnik i snage šuma koji bi proizveo »idealni« prijemnik uz inače jednake uvjete. Budući da

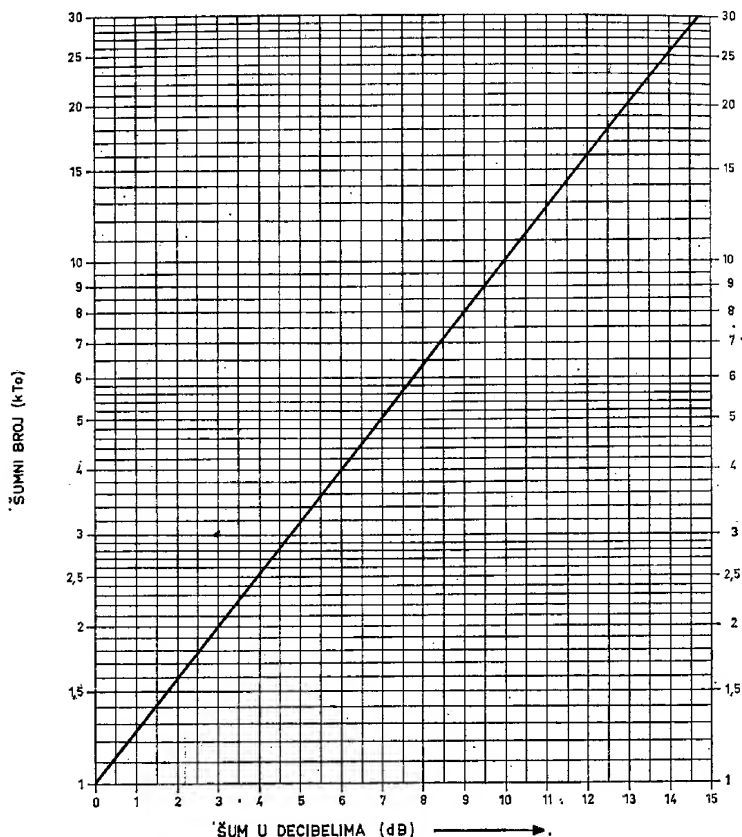
se tu radi o odnosu, faktor šuma se redovito izražava u decibelima (dB). Za dobre komunikacijske prijemnike on iznosi oko 5 do 10 dB za kratkovalna područja. Za UKV prijemnike treba da to bude barem oko 4 dB. Bolje je da bude još manje, npr. oko 3 dB ili ispod toga. Potrebu da šum UKV prijemnika bude što manji prikazuju krivulje na sl. 10-7. Ovisnost šuma prijemnika o frekvenciji ako je u prvom stupnju pentoda daje krivulja P. Za triodu vrijedi krivulja TA, a za tranzistore TR. Uz upotrebu specijalnih tranzistora može šum prijemnika biti i manji nego je ovdje prikazano.

U literaturi možemo naći i drugačiju oznaku za »faktor šuma« nekog prijemnika. To je tzv. kT_0 (čitaj: ka-te-nula). Ova oznaka potječe iz komercijalne decimetarske radio-tehnike. Slovo k ovdje znači Boltzmannovu konstantu ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/°K) a T_0 je apsolutna temperatura, koja se mjeri Kelvinovim stupnjevima (°K). Uzmemo li, dakle, za normalnu sobnu temperaturu $20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$, izlazi:

$$1 kT_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ Ws ili W za svaki Hz širine pojasa}$$

To znači da bi idealni prijemnik kod sobne temperature, priključen na određenu antenu, za svaki Hz širine svog propusnog pojasa proizvodio šum snage $4 \cdot 10^{-21}$ W (vata). Svaki realni prijemnik šumi jače od toga. Kaže li se da je »šum« prijemnika, npr. $2 kT_0$, onda on šumi dvostruko snažnije od idealnog prijemnika koji ima jednako širok propusni pojas.

Za razliku od mjere za šum u decibelima (dB) koji se mijenjaju po logaritmičkoj skali, mjera za šum u jedinicama kT_0 je linearna. Lako ih je preračunati jedne u druge pomoću dijagrama na sl. 10-8. Ovdje vidimo da je $1 kT_0 = 0$ dB. Vrijednost $2 kT_0$ odgovara 3 dB, što je već vrlo dobra vrijednost za UKV prijemnik.



Sl. 10-8. Dijagram za preračunavanje šuma prijemnika, izraženog u decibelima (dB) u vrijednosti, izražene u » kT_0 « i obratno

Ako je potrebno da se popravi odnos signal/šum kod prijemnika UKV signala, treba smanjiti propusni pojas prijemnika i povećati mu selektivnost do maksimalne mjere koju samo dopušta stabilnost njegovih oscilatora. Za sasvim male, prenosne prijemnike koji su u maloj kutijici kombinirani s odgovarajućim malim predajnikom (primopredajnici) mogu poslužiti i manje selektivnosti (30 do 50 kHz). Bolji UKV prijemnici za FM-telefoniju treba da budu selektivniji (20 do 25 kHz) od ovih, dok se još veća selektivnost traži za prijem SSB-telefonije (oko 3 kHz). Nije rijetka ni

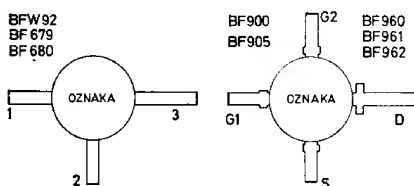
primjena vrlo uskih propusnih pojasa, koji su potrebni za što bolji odnos, signal/šum kod prijema slabih telegrafskih (CW) znakova, npr. kod veza putem refleksije na Mjesec ili za rad preko meteorskih tragova (MS) i slično.

Pri gradnji UKV prijemnika treba misliti na činjenicu da je uvijek važnije u prvom stupnju prijemnika osigurati *malen vlastiti šum* nego li veliko pojačanje signala. Zato treba, za prijem na frekvencijama od 144 MHz i više, pažljivo odabrati tranzistore, kao i sam način gradnje, jer je to odlučno za odnos sig-

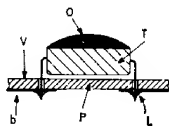
nala prema šumu, a prema tome i za osjetljivost prijemnika za *slabe* signale.

Tranzistori i diode za UKV prijemnike

Danas se u prijemnicima za UKV upotrebljavaju samo tranzistori. Njihov izbor ovisi o stupnju prijemnika u kojemu treba tranzistor da radi. Što bliže ulazu prijemnika, to je izbor tranzistora kritičniji. Za sam *ulazni stupanj* prijemnika treba uvijek izabrati takav tranzistor koji ima *malen vlastiti šum*.



OZNAKA	TIP	PRIKLJUČNICA		
		1	2	3
BFW92	NPN	B	E	K
BF 679	PNP	E	B	K
BF 680				



Sl. 10-9. Izgled savremenih, specijalnih tranzistora za UKV. Lijevo gore: pogled na plosnato kućište bipolarnih tranzistora. Numeracija priključaka vrijedi ako je ona strana tranzistora, na kojoj je napisana oznaka, okrenuta prema gore. Pregled priključaka za takve tranzistore je na tablici ispod crteža. Desno gore: pogled sa gornje strane na plosnato kućište specijalnih MOSFET-a. Kada se gleda na tranzistorovu oznaku, najduži izvod (onaj desno) je za drejn-elektrodu. Kraj ostalih izvoda su oznake: S = surs; G₁ i G₂ = gejt-elektrode. — Desno dolje je prikazano kako se ova vrsta tranzistora montira na štampanu pločicu: P = pločica, V = nepokriveni vitroplast, b = bakar, L = lemljena mjesta, T = tranzistor, O = oznaka

Za dvometarski opseg (144 do 146 MHz) je izbor najlakši. Dobri su i tranzistori u »običnim« kućištima, kao što su AF 139, BF 272, BF 161, BF 167, BF 173, BF 90... i mnogi drugi. Od FET-a i MOSFET-a treba posebno istaći domaći 3N200 (»RIZ«) koji se upotrebljava u svim stupnjevima prijemnika *do 800 MHz*.

Za UKV-opseg od 70 cm (432 MHz) također se mogu upotrebiti navedeni tranzistori, ali su bolji njihovi »rođaci« u kućištima koja odgovaraju tehnici vrlo visokih frekvencija. To su npr. tranzistori AF 239 i njegovi silicijski nasljednici BF 679 i BF 680 (P-N-P), kao i BFW 92 (N-P-N), u kućištu za najviše frekvencije, prema sl. 10-9, lijevo.

Malen šum i veliko pojačanje na frekvencijama između 400 i 800 MHz postižu se MOSFET-ima serije BF 900, BF 905 i njihovim novijim »potomcima« kao što su BF 960, BF 961 i BF 962 (»RIZ«), sl. 10-9, desno.

Kada je riječ o silicijevim malošumnim tranzistorima, treba razlikovati ono, što se može pročitati u nekoj reklami ili čuti u pričama, od onoga što piše u tvorničkim prospektima. Reklame su reklame, a priče su priče; oboje je obično pretjerano i »previše lijepo« da bi moglo biti istinito! Tvornički podaci su, svakako, pouzdaniji. Ali, čitajući tvorničke podatke ne smijemo zaboraviti da su oni dobiveni u optimalnim uvjetima tvorničkog ispitnog laboratorija. Što i koliko će od te »malošumnosti« biti ostvareno, npr., u nekoj amaterskoj gradnji ili u nekom tvornički proizvedenom prijemniku, veliko je pitanje. Sve ovisi koliko su konkretni pogonski uvjeti u određenom uređaju blizu onim optimalnim uvjetima (ili daleko, HI).

U prvom redu treba znati da se tranzistor BF 900 bitno ne razlikuje od tranzistora 3N200. Razlika je, uglavnom, u kućištu! Tranzistori sa oznakama BF 901, BF 902 nisu bolji od BF 900. Oni se, do frekvencije od 200 MHz, međusobno samo *malo*

razlikuju. Za frekvencije do 800 MHz je BF 900 najbolji među njima. On ima najmanji šum!

Što se tiče tranzistora BF 960 treba znati da je u isto takvom kućištu kao i BF 900, ali da ima poboljšane karakteristike. Pritom tranzistor BF 960 u visokofrekventnom pojačalu, kod 800 MHz, manje šumi od BF 961. Na frekvencijama do 200 MHz, jedva da bi se *bez vrlo preciznih mjerenja* (!) mogla čuti razlika među njima.

Osim silicijevih tranzistora u novije se vrijeme pojavljuju osobito malošumni tranzistori koji se izrađuju na novoj vrsti poluvodiča: *gallijevom arsenidu* (GaAs). Među prvim, koji ih proizvode u većim količinama, spominju se tvornice »Microwave Semiconductor Corporation« i »NEC« (Nippon Electric Co.). Prema tvorničkim podacima može se očekivati *visokofrekventno pojačanje oko 20 dB uz šum od oko 1 dB* na frekvencijama oko 432 MHz ili, na frekvencijama oko 1296 MHz, pojačanje od 15 dB uz šum koji ne prelazi 3 dB. Do radio-amatera takvi tranzistori dolaze samo u iznimnim slučajevima, ali i onda uz vrlo visoku cijenu (blizu \$ 40,— i više!). Za sada ćemo se zadovoljiti s time da znamo za njih (HI), ali — kako je u početku bilo i s drugim tranzistorima — s vremenom će im cijena pasti, pa će i amateri moći s njima eksperimentirati. Dva primjera za njihovu upotrebu prikazat ćemo i u ovom poglavlju.

Osim tranzistora, na visokim frekvencijama UKV područja mnogo se primjenjuju, osobito u *stupnjevima za miješanje*, različite *diode*. Među ovima se ističu tzv. Schottky-jeve (Šotki), diode. One se od ostalih poluvodičkih dioda razlikuju po tome što *vrlo brzo reagiraju* na promjene napona i što imaju *neobično malen vlastiti kapacitet*. Taj kapacitet, ako je prevelik, predstavlja prolaz za izmjenične struje visokih frekvencija. Kod najviših frekvencija, diode koje inače vrlo dobro rade na frekvencijama svih kratkih

valova, počinju pomalo »otkazivati«. One na frekvenciji od, npr, 1296 MHz više uopće ne funkcioniraju kao diode. Nema ispravljačkog učinka, jer — preko vlastitog kapaciteta same diode — visokofrekventne struje nesmetano proteku! Na takvim frekvencijama se bez pravih »šotkica« ne može ništa uspješno načiniti. Ipak ćemo ovdje pokazati i primjer uređaja za prijem na frekvenciji 1926 MHz.

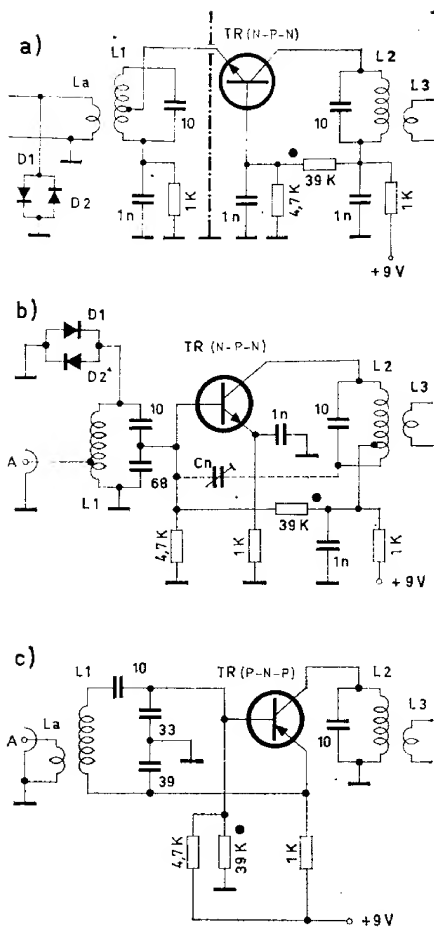
VISOKOFREKVENTNA POJAČALA ZA UKV

Tranzistorska visokofrekventna pojačala za UKV

Tranzistori su danas toliko kvalitetni da ih se može s uspjehom primijeniti u visokofrekventnim pojačalima na UKV području. Neki od njih mogu služiti i za frekvencije preko 1000 MHz.

Tranzistorsko visokofrekventno pojačalo »sa uzemljenom bazom« prikazano je na sl. 10-10a. Za visokofrekventno »uzemljenje« baze služi kondenzator od 1 nF, dok je radna tačka određena uobičajenim razdjelnikom (4,7 kΩ i 39 kΩ) koji treba prilagoditi upotrebljenom tranzistoru (otpornik s tačkom na shemi!). Razumije se da i ovdje radna tačka ovisi i o emitterskom otporniku (1 kΩ). Ovaj je potreban i za termičku stabilizaciju radne tačke. Sam emiter je priključen na odvojak zavojnice L_1 jer je ulazna impedancija tranzistora u ovome sklopu vrlo niska. Izlazni titrajni krug je uključen direktno u strujni krug kolektora. Da se spriječi eventualna povratna veza od izlaznog na ulazni titrajni krug, dobro je postaviti metalnu pregradu koja će ih odijeliti jedan od drugoga. Također je dobro, iz istih razloga, da geometrijske osi zavojnice L_1 i L_2 budu jedna na drugu okomite. To znači: ako L_1 stoji neka L_2 leži ili slično.

Diode D_1 i D_2 koje su spojene paralelno sa antenskom zavojnicom



Sl. 10-10. Primjeri visokofrekventnih pojačala za UKV s tranzistorima: a) pojačalo sa »uzemljenom« bazom; b) pojačalo kod kojega je emiter uzemljen za visoke frekvencije. Kondenzator C_n služi za neutralizaciju; c) VF pojačalo kod kojega se signal istovremeno, suprotnim fazama, dovodi na bazu i na emiter tranzistora. Kao TR može se upotrebiti, npr. BF 161, BF 166, BF 180, BF 200 ili njima sličan tranzistor. Za BF 167, BF 173, BF 224 i BF 225 (i ekvivalentne) preporučuje se samo sklop b) i to bez neutralizacije

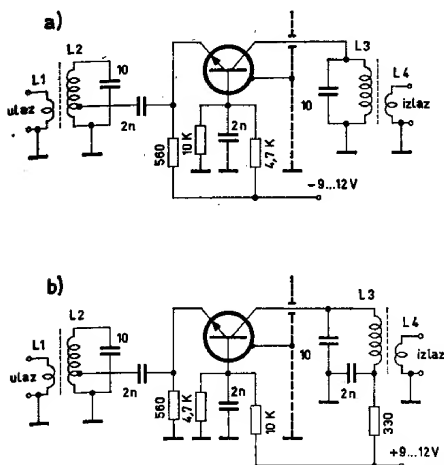
La služe za zaštitu tranzistora, ako je prijemnik u blizini nekog predajnika. To mogu, osobito onda ako predajnik nije jako snažan, biti i normalne visokofrekventne germanijeve diode. Ako je u blizini prijemnika jači predajnik, bolje je da se umjesto germanijevih dioda stave silicijevе diode malog vlastitog kapaciteta (oko 1 pF). Germanijeve diode ne vode ni u propusnom smjeru ako je napon ispod 0,2 V. Za silicijevе diode napon mora biti veći od 0,6 V da bi električna struja mogla proteći. Zato prisutnost dioda na tome mjestu nema nikakvog utjecaja na prijem UKV signala.

Visokofrekventno pojačalo s tranzistorom kojemu je uzemljen emitter prikazano je na shemi sl. 10-10b. I ovdje je upotrebljen silicijev N-P-N tranzistor, kao i u predašnjem primjeru. I razdjelnik napona na bazu, kao i emitterski otpornik su isti, čime je osigurana ista istosmjerna radna tačka tranzistora, tj. jednako jaka kolektorska struja uz isti pogonski napon, kao i za primjer na sl. 10-10a.

Odvojak za priključivanje baze tranzistora na ulazni titrajni krug ostvaren je kapacitivnim djelateljem (10 i 68 pF), za razliku od predašnjeg primjera ovdje je antena priključena na odvojak ulazne zavojnice. Zaštitne diode D_1 i D_2 spojene su preko čitave zavojnice L_1 .

Ima tranzistora koji na ovaj način mogu raditi i bez neutralizacije, ali će kod nekih biti potrebno neutralizirati unutrašnju kapacitivnu povratnu vezu koja postoji u samom tranzistoru. Za tu svrhu može poslužiti kondenzator C_n . On se priključuje na onaj kraj zavojnice L_2 koji nije spojen s kolektorom, već se nalazi tik uz odvojak preko kojega se dovodi električna struja iz plus pola izvora od 9 V.

Kod trećeg primjera visokofrekventnog UKV pojačala se ulazni signal dovodi istovremeno suprotnim fazama na bazu i na emiter tranzistora. Shema je nacrtana za tranzistore tipa P-N-P i pokazala se u



Sl. 10-11. Tranzistorsko visokofrekventno pojačalo za 144 MHz u dvije varijante: a) ako je pozitivni pol izvora struje napajanja uzemljen; b) ako je negativni pol uzemljen. Sheme vrijede za malošumne tranzistore, kao što su, npr. BF 161 ili BF 166. Zavojnice su motane lakiranim ili posrebrrenom bakrenom žicom, $\varnothing = 1$ mm, na polistirolskim tijelima, promjera 5 mm, u kojima je jezgrica od visokofrekventnog željeza za UKV: $L_2 = 5$ zavoja. Dužina zavojnice 9 mm, odvojak iza 1. zavoja. $L_3 =$ kao L_2 , ali bez odvojka. $L_1 = L_4 = 2$ zavoja, izolirane žice, $\varnothing = 0,5$ mm, Cu/PVC, uz hladni kraj zavojnice L_2 i L_3

praksi kao vrlo upotrebljiva. Uz prave UKV tranzistore (AF 139 ili BF 272) obično ne treba neutralizacije. Razumije se da tu mogu poslužiti i tranzistori tipa N-P-N (npr. BF 261, BF180 i sl.), ali onda se mora promijeniti polaritet izvora struje. Ako je za tranzistor tipa P-N-P bio uzemljen negativan pol, trebat će za N-P-N tranzistore uzemljiti pozitivni pol i obratno.

Na sl. 10-11 su dvije sheme tranzistorskih pojačala za frekvenciju od 144 MHz, tj. za amaterski dvometarski opseg. Obje sheme vrijede za silicijeve tranzistore. U prvom

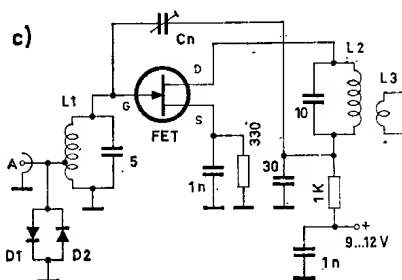
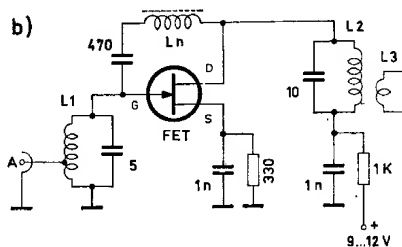
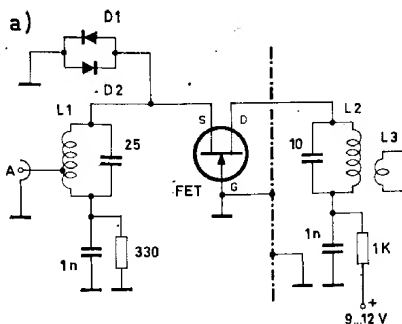
slučaju (sl. 10-11a) uzemljen je pozitivni pol, a u drugome (sl. 10-11b) negativni pol izvora struje. Pažljivi promatrač će lako uočiti bitne razlike između jednog i drugog sklopa. Metalni oklop samog tranzistora treba spojiti s pregradom koja odjeljuje ulazni titrajni krug od izlaznog. Izgled takvog pojačala prikazuje sl. 10-12.

U mjestima gdje istovremeno radi mnogo amaterskih UKV stanica ili gdje u blizini amaterskih frekvencija rade jake komercijalne i druge UKV stanice, lako dolazi do preterećivanja ulaznih stupnjeva i do unakrsne modulacije. Iako mnogi »bipolarni« tranzistori dobro rade na UKV području, osiguravajući veliko pojačanje i vrlo malen šum, oni ipak ne podnose prejakke signale. Osim toga i njihova je linearnost loša, pa u pogledu unakrsne modulacije i sličnih smetnji zaostaju za specijalnim tranzistorima koji rade na principu korištenja »efekata polja« (Field-Effect Transistor, »FET«). Najprije ćemo navesti primjere za upotrebu tranzistora tipa JFET.

Na sl. 10-13a je VF pojačalo u kojemu je gejt-elektroda FET-a uzemljena. Otpornik od 330 Ω osigurava prednapon. Diode D_1 i D_2



Sl. 10-12. Izgled visokofrekventnog tranzistorskog pojačala za 144 MHz. Limena pregrada dijeli izlazni titrajni krug od ulaznog. Tranzistor može biti BF 167 ili BF 173 (»RIZ-Zagreb«), odnosno BF 244 ili BF 225 (»Ei-Niš«)



Sl. 10-13. Visokofrekventna pojačala za UKV sa FE-tranzistorima (FET): a) sa uzemljenom gejt-elektrodom; b) sa visokofrekventno uzemljenom surs-elektrodom i neutralizacijom pomoću induktiviteta L_n ; c) kao u predašnjem primjeru ali sa kapacitivnom neutralizacijom pomoću C_n . Na isti način se mogu upotrebiti i MOSFET-i s dvije gejt-elektrode, koje se spoje jedna s drugom!

štite FET od prevelikih ulaznih napona. Ako je gejt (G) uzemljen, neutralizacija nije potrebna.

FET sa uzemljenom surs-elektrodom, kada služi za visokofrekventno

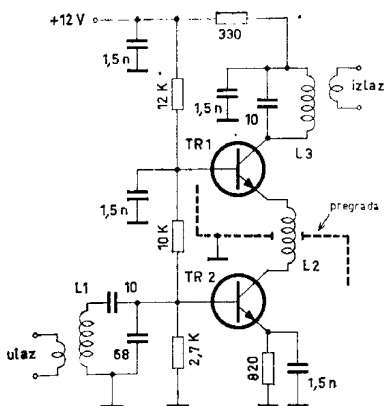


Sl. 10-14. VF pojačalo za dvometarski amaterski opseg (144 do 146 MHz), sagrađeno prema shemi na sl. 10-13b

pojaćanje, mora biti neutraliziran, sl. 10-13b. Ovdje nisu ucrtane zaštitne diode, ali ih se može dodati na jedan od ranije opisanih načina.

I kapacitivna je neutralizacija moguća kod FET-a, što pokazuje shema na sl. 10-13 c. Neutralizacija je ostvarena malim promjenljivim kondenzatorom C_n , kojemu je maksimalni kapacitet oko 5 pF. D_1 i D_2 su i ovdje zaštitne diode, prijeko potrebne ako takvo VF pojačalo mora raditi u blizini predajnika.

Visokofrekventno pojačalo sa FET-om za 144 MHz vidimo na sl. 10-14. Ono je načinjeno prema shemi na sl. 10-13b. Bio je upotrebljen FET tipa 2N3819 i, s jednakim uspjehom, BF 244 (*«Texas Instruments»*). On nema metalnog oklopa, već je zaliven u crnu plastiku. Nalazi se u sredini slike. Iza tranzistora je zavojnica L_n koja služi za neutralizaciju. Desno od nje je zavojnica ulaznog titrajnog kruga, a na lijevoj strani je zavojnica izlaznog titrajnog kruga. Ove tri zavojnice su, kako se vidi, montirane tako da su im geometrijske osi međusobno jedna na drugu okomite. Između ulaznog i izlaznog titrajnog kruga nema nikakve pregrade, a neutralizacija osigurava stabilan rad na čitavom opsegu frekvencija od 144 do 146 MHz. Pojaćanje koje se



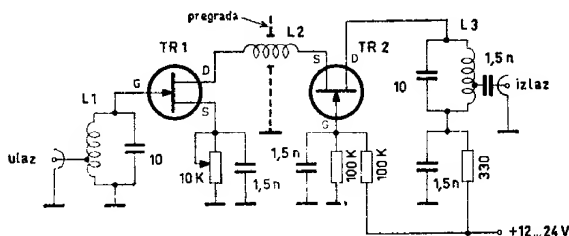
Sl. 10-15. Shema dvometarskog kaskodnog pojačala sa N-P-N tranzistorima. $TR_1 = TR_2 = BF\ 161$, $BF\ 180$ ili $BF\ 200$. Uz izmijenjeni polaritet izvora struje napajanja, tako da bude plus pol na šasiji, mogu poslužiti i tranzistori tipa P-N-P, npr. $AF\ 139$ ili $BF\ 272$. Zavojnice L_1 , L_2 i L_3 treba, ovisno o tranzistorima i o tijelima za namatanje, načiniti tako da zajedno s priključenim kapacitetima resoniraju na sredinu opsega (145 MHz)

moglo postići ovisno je o veličini pogonskog napona. Uz napon od 9 V pojačanje iznosi oko 13 dB, a uz napon od 12 V najmanje 15 do 17 dB, što ovisi o izabranom tranzistoru. Pojačanje signala iznosi dakle preko 2 do skoro cijela 3 stupnja amaterske S-skale!

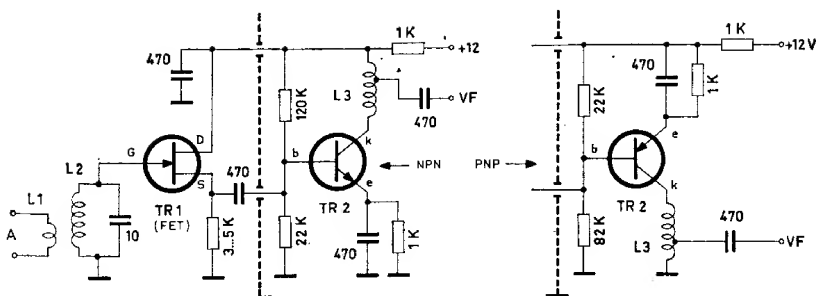
Visokofrekventno pojačalo kod kojega su dva tranzistora spojena u seriju, prema sl. 10-15, poznato je pod imenom »kaskoda«. Takva pojačala su bila najprije građena sa elektronskim cijevima tako da je katoda jedne cijevi bila spojena sa anodom druge. Budući da se elektronske cijevi više ne upotrebljavaju za ove svrhe, pokušalo se načiniti kaskodno pojačalo s bipolarnim tranzistorima. TR_1 i TR_2 su tranzistori tipa N-P-N, kao npr. BF 161, BF 180, BF 200 ili njima slični. Ulazni titrajni krug (sa L_1) spojen je na bazu tranzistora TR_2 pomoću kapacitivnog razdjelnika. Kolektorska struja iz TR_2 protiče i kroz TR_1 , u kolektorski strujni krug kojega je smješten izlazni titrajni krug (sa L_2). Zavojnica L_2 koja se nalazi između jednog i drugog tranzistora služi za *neutralizaciju* i ona mora biti ugođena na sredinu onog UKV opsega koji želimo primati.

Slično kaskodno pojačalo je prikazano i na sl. 10-16. Tu su upotrebljeni unipolarni tranzistori (FET). I ovdje je neizbježiva zavojnica za neutralizaciju L_n . Kako vidimo na obje slike, ova zavojnica prolazi kroz limenu pregradu, montiranu između tranzistora. Tako ne može ulazni titrajni krug djelovati na izlazni.

Iako su oba kaskodna spoja dva-ju tranzistora vrlo zanimljiva za eksperimentiranje, mnogi se od amatera ne odlučuje ići tim putem.



Sl. 10-16. Shema kaskodnog VF pojačala za UKV sa dva FET-a. Titrajne krugove i zavojnicu za neutralizaciju treba odabrati za željeno UKV područje. Ulaz i izlaz se mogu optimalno prilagoditi izborom odvojka na zavojnicama L_1 i L_3



Sl. 10-17. VF pojačalo za dvometarski opseg u kojemu je FET kombiniran sa »običnim« tranzistorom. Ovaj drugi može biti ili N-P-N ili P-N-P, kako je to vidljivo na shemi

Njima se čini da je ugađanje neutralizacije teško. Nije teško, ali to treba obaviti sa mnogo pažnje. Za one koji žele brže do cilja, jednostavnije je sagraditi VF pojačalo, sl. 10-17. Na ulazu pojačala stavlja se FET. Njegov veliki ulazni otpor ne prigušuje titrajni krug i zato zavojnica L_2 ne treba nikakvog odvojka. U drugom stupnju je bipolarni tranzistor tipa N-P-N ili, ako želimo, tipa P-N-P. Nacrtane su sheme za obje ove mogućnosti. Veza između stupnjeva je kapacitivna (preko 470 pF). Zavojnica L_3 mora resonirati s kolektorskim kapacitetom tranzistora TR2. Odvojak je na 1/5 broja zavoja čitave zavojnice.

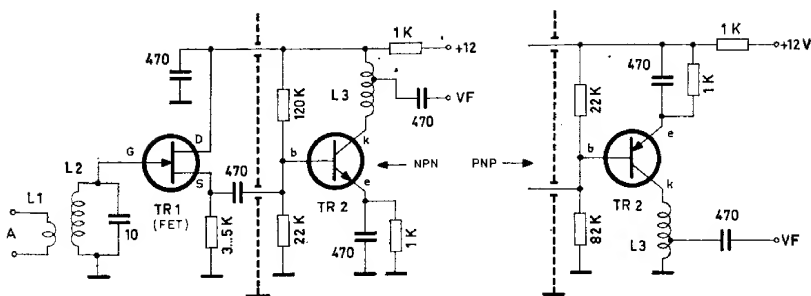
Specijalna malošumna UKV pojačala

Da bismo postigli što manji šum potrebno je, kako već znamo, da prvi stupanj u prijemniku što manje šumi. Želimo li da nam taj prvi stupanj pojača signal, potrebno je u visokofrekventnom pojačalu upotrebiti i specijalne tranzistore. Ovo je osobito važno za prijemnike koji su namijenjeni za radio-veze refleksijom od *meteorskih tragova*, od ioniziranih slojeva kod *polarne svjetle* (»aurora«) ili od *Mjeseca*. Takvi malošumni predstupnjevi mogu mnogo koristiti, ali *samo onda* kad je smještaj radio-uređaja na takvom

mjestu gdje nema drugih, osobito tzv. »industrijskih« smetnja. Najraznolikije električne instalacije, strojevi, kućanski aparati i automobili u gusto naseljenom gradskom području proizvode toliko električnih smetnja da se formira pravi »gradski visokofrekventni smog«. Protiv njega *ne pomaže* nikakvo malošumno pojačalo. Ni »najmalošumniji« tranzistor nije u stanju da iz tog općeg šuma »izvuče« neki signal kojemu je snaga vrlo malena. Signal ostaje ispod »nivoa šuma«, određenog gradskim načinom života.

Tek onda, kada je moguće otići izvan zone u kojoj postoji taj gradski šum, postoji mogućnost da se primjeti značenje specijalnih VF pojačala. To su smještaji (»QTH«) *izvan grada*, daleko od svih električnih postrojenja i industrijskih pogona. U samom gradu takvi su smještaji veoma rijetki, predstavljaju prave izuzetke. Takav izuzetak može biti, možda, ako se amaterska radio-stanica nalazi negdje na vrhu nebodera (solitera) i ako ima dobre usmjerene antene i ne predugačke koaksijalne antenske vodove.

Na sl. 10-18 je shema VF pojačala za dvometarski amaterski opseg. Predviđena je upotreba MOSFET-a kao što su BF 900, BF 960 ili 3N200. Njihov je šum vrlo malen, a pojačanje im je barem 3 S-jedinice (oko 18 dB ili više).



Sl. 10-17. VF pojačalo za dvometarski opseg u kojemu je FET kombiniran sa »običnim« tranzistorom. Ovaj drugi može biti ili N-P-N ili P-N-P, kako je to vidljivo na shemi

Njima se čini da je ugađanje neutralizacije teško. Nije teško, ali to treba obaviti sa mnogo pažnje. Za one koji žele brže do cilja, jednostavnije je sagraditi VF pojačalo, sl. 10-17. Na ulazu pojačala stavlja se FET. Njegov veliki ulazni otpor ne prigušuje titrajni krug i zato zavojnica L_2 ne treba nikakvog odvojka. U drugom stupnju je bipolarni tranzistor tipa N-P-N ili, ako želimo, tipa P-N-P. Nacrtane su sheme za obje ove mogućnosti. Veza između stupnjeva je kapacitivna (preko 470 pF). Zavojnica L_3 mora resonirati s kolektorskim kapacitetom tranzistora TR2. Odvojak je na 1/5 broja zavoja čitave zavojnice.

Specijalna malošumna UKV pojačala

Da bismo postigli što manji šum potrebno je, kako već znamo, da prvi stupanj u prijemniku što manje šumi. Želimo li da nam taj prvi stupanj pojača signal, potrebno je u visokofrekventnom pojačalu upotrijebiti i specijalne tranzistore. Ovo je osobito važno za prijemnike koji su namijenjeni za radio-veze refleksijom od *meteorskih tragova*, od ioniziranih slojeva kod *polarne svjetla* (»aurora«) ili od *Mjeseca*. Takvi malošumni predstupnjevi mogu mnogo koristiti, ali *samo onda* kad je smještaj radio-uređaja na takvom

mjestu gdje nema drugih, osobito tzv. »industrijskih« smetnja. Najraznolikije električne instalacije, strojevi, kućanski aparati i automobili u gusto naseljenom gradskom području proizvode toliko električnih smetnja da se formira pravi »gradski visokofrekventni smog«. Protiv njega *ne pomaže* nikakvo malošumno pojačalo. Ni »najmalošumniji« tranzistor nije u stanju da iz tog općeg šuma »izvuče« neki signal kojemu je snaga vrlo malena. Signal ostaje ispod »nivoa šuma«, određenog gradskim načinom života.

Tek onda, kada je moguće otići izvan zone u kojoj postoji taj gradski šum, postoji mogućnost da se primjeti značenje specijalnih VF pojačala. To su smještaji (»QTH«) *izvan grada*, daleko od svih električnih postrojenja i industrijskih pogona. U samom gradu takvi su smještaji veoma rijetki, predstavljaju prave izuzetke. Takav izuzetak može biti, možda, ako se amaterska radio-stanica nalazi negdje na vrhu nebodera (solitera) i ako ima dobre usmjerene antene i ne predugačke koaksijalne antenske vodove.

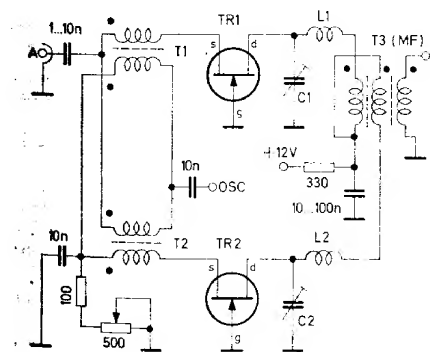
Na sl. 10-18 je shema VF pojačala za dvometarski amaterski opseg. Predviđena je upotreba MOSFET-a kao što su BF 900, BF 960 ili 3N200. Njihov je šum vrlo malen, a pojačanje im je barem 3 S-jedinice (oko 18 dB ili više).

trom kojemu je klizni kontakt spojen sa — U_s «. Isto vrijedi, dakako, i za shemu na sl. 10-21b. VF pojačalo sa GaAs-FET-om za 432 MHz, načinio je K2UYH, sl. 10-22. Na sl. 10-23 je VF pojačalo za 1296 MHz koje je sagradio WA2ZZF. Obje slike su iz časopisa »QST«, jer nismo mogli nabaviti takve tranzistore da sami nešto slično sagradimo i isprobamo.

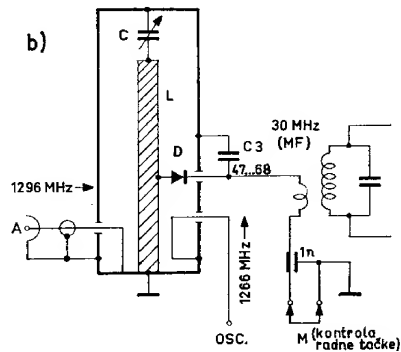
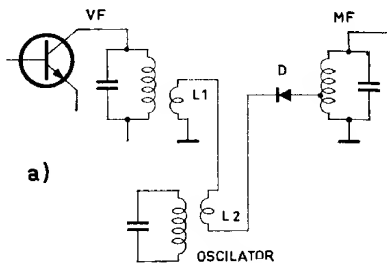
STUPNJEVI ZA MIJEŠANJE U UKV PRIJEMNIKU

Stupnjevi za miješanje u UKV
prijemniku *bitno se ne razlikuju*
od stupnjeva za miješanje koje smo
opisali u poglavlju o kratkovalnim
prijemnicima. Ovdje ćemo dodati
još nekoliko primjera za UKV.

Tranzistori TR_1 i TR_2 , na sl. 10-24, moraju biti dva, što je moguće više, jednaka FET-a. Njihova radna struja neka ne bude mala. Tranzistori P 8000 bili bi vrlo dobri za tu svrhu, ukoliko bismo iz veće »hrpe« mogli izabrati dva je *dnakih svojstava*. Najbolje je upotrebiti *dvostruki FET*, kao što je npr. U 430. Ne samo da su u istom kućištu, već su i na istoj



Sl. 10-24. Stupanj za miješanje s dva FET-a. TR_1 i TR_2 moraju biti međusobno jednaki npr. izabrani par tranzistora P 8000. Također se može upotrebiti dvostruki FET, kao što je U 430. Za ostalo vidi tekst

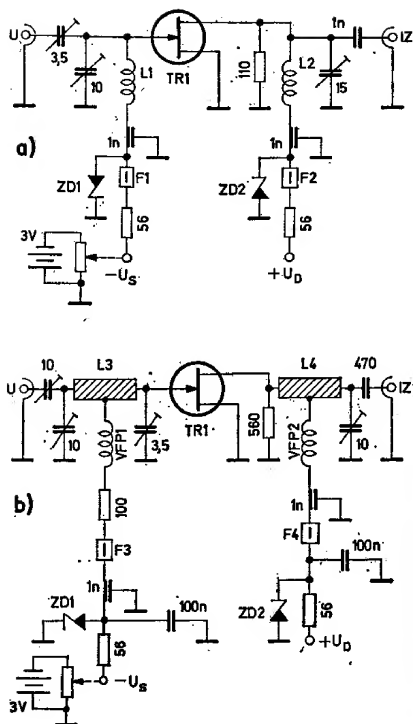


Sl. 10-25. Miješanje sa diodom: a) za područje metarskih valova (VHF); b) za područje decimetarskih valova (UHF)

minijaturnoj silicijevoj pločici (»čipu«). Budući da su oba tranzistora prošla čitav proizvodni proces zajedno, njihove su električne karakteristike praktički identične. Jedan se ne razlikuje od drugoga!

Transformatori T_1 i T_2 , kao i T_3 su širokopojasni karakteristika. Namotani su bifilarno, odnosno trifilarno, na toroidnim feritnim prstima (»torusima«), slično onima na sl. 9-27. Feritni materijal mora odgovarati primjeni kod viših frekvencija. Broj zavoja je nešto manji, ovisno o UKV-opsegu frekvencija.

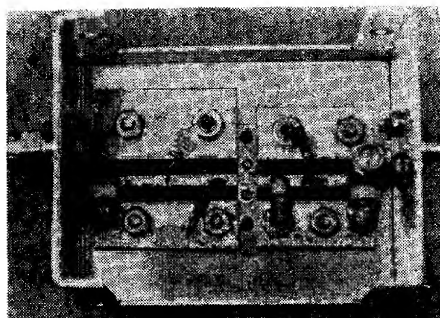
Češća je upotreba dioda, osobito za miješanje kod vrlo visokih UKV frekvencija. Na sl. 10-25a prikazan je princip miješanja sa jednom diodom u području metarskih valova.



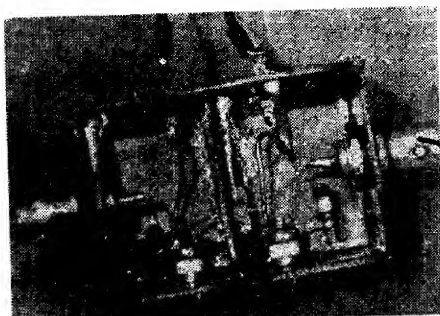
Sl. 10-21. VF pojačalo za ultravisoke frekvencije sa GaAs-FET-om: a) za 70-centimetarski opseg (K2UYH); b) za 24-centimetarski opseg (WA2ZZF). $ZD_1 = ZD_2$ = Zenerove diode za napon 4,7 do 6,2 V. ZD_2 određuje pogonski napon pojačala. Prednapon za gejt-elektrodu ($-U_g$) određen je potenciometarski i on je znatno niži od napona za koji je načinjena dioda ZD_1 . Ona ne određuje prednapon. Ona treba spriječiti eventualnu pojavu viših napona koji bi mogli upropastiti vrlo osjetljiv FET

je načinjen i nosač svih dijelova, kao i pregrada između ulazne i izlazne priključnice.

Najnoviji FET, načinjen iz galijevog arsenida (GaAs), još se ne može nabaviti u trgovinama, u redovitoj prodaji. Sve što o njemu, za sada, znamo potiče iz literature. Sheme



Sl. 10-22. Izgled UKV pojačala za 432 MHz sa FET-om iz galijevog arsenida (GaAs)

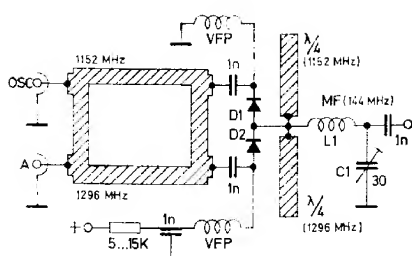


Sl. 10-23. Visokofrekventno UKV pojačalo za 1296 MHz sa FET-om iz galijevog arsenida (GaAs)

na sl. 10-21 su iz časopisa »QST«, br. 6/1978.

Dimenzije tog FET-a su izvanredno male (promjer ispod 3 mm!). Primijeniti se može kao pojačalo do vrlo visokih frekvencija, čak do 12 GHz. Iako su deklarirani kao pojačala snage (do 1/4 vata!), mogu izvršno poslužiti kao prijemna visokofrekventna pojačala za decimetarske i centimetarske ultrakratke valove.

Zenerove diode, ZD_1 i ZD_2 , za napon oko 5,6 V (od 4,7 do 6,2 V je dopušteno!) ograničuju napone napajanja na dozvoljeni maksimum. Za gejt-elektrodu je potreban radni prednapon koji je niži od toga. Na sl. 10-21a je to naznačeno sa dva galvanska elementa i potenciome-



Sl. 10-26. Stupanj za miješanje na kaširanom vitroplastu za frekvencije oko 1296 MHz. Bolje bi bilo upotrebiti bakrom kaširani (prevučeni) teflon. Vidi tekst

U području decimetarskih valova, gdje su i titrajni krugovi drukčiji, može se stupanj za miješanje pomoću diode načiniti prema sl. 10-25b.

Koaksijalni resonatori, kao što je onaj na sl. 10-25b, danas se redovito upotrebljavaju u profesionalnim UKV uređajima. Amateri će se češće susresti sa uređajima kod kojih su gotovo svi vodovi, uključivši i titrajne krugove, »naštampani« na kaširanim pločicama. Primjer takvog stupnja za miješanje koji može raditi na višim decimetarskim UKV opsezima, u principu, prikazan je na sl. 10-26. Oscilatorova injekcija se dovodi u jedan, a primani signal u drugi ugao štampanog četverokuta. Njegova gornja stranica je malo uža od donje. Štampana bakrena traka koja je šira ima manji induk-

tivitet. Uz njega je zato napisana viša frekvencija (1296 MHz). Uz onaj drugi piše vrijednost niže, oscilatorove frekvencije (1152 MHz).

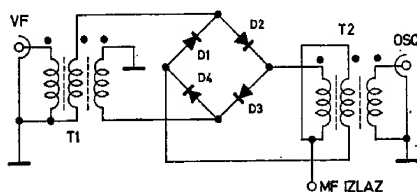
Razlika između prijemne i oscilatorove frekvencije je 144 MHz. To je međufrekvencija, pa dvometarski prijemnik može poslužiti kao dodatak u kojemu su i svi ostali stupnjevi, potrebni za prijem.

Međufrekvencija se dobije pomoću dioda D_1 i D_2 . One moraju, iz razloga koje smo ranije objasnili, imati osobito malen vlastiti kapacitet i malen šum. To se postiže isključivo Schottky-diodama koje daju zadovoljavajuće rezultate i na frekvencijama od nekoliko GHz.

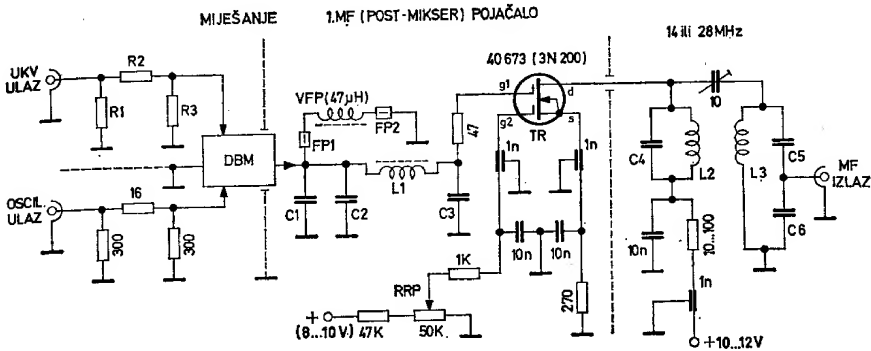
Zavojnica L_1 sa trimerskim kondenzatorom C_1 formira izlazni (međufrekventni) titrajni krug na 144 MHz. Da ne bi, na izlazu ovog konvertora, prijemna i oscilatorova frekvencija imale preveliku amplitudu, odmah iza dioda, D_1 i D_2 , nalaze se dva štampana bakrena traka kojima je dužina i širina takva da resoniraju na te dvije frekvencije. Oni djeluju kao »upojni $\lambda/4$ resonatori«, tj. upijaju (apsorbiraju) oscilacije kojih frekvencija iznosi 1152 MHz i 1296 MHz.

Dvostruki balans-mikser (DBM), prema sl. 10-27, najčešće se danas upotrebljava do frekvencija oko 500 MHz, ukoliko su mu diode Schottky-jevog tipa (»hot-carrier«, što im je drugo ime, osobito u anglo-američkoj stručnoj literaturi). Za ovako visoke frekvencije je najbolje upotrebiti gotove DBM, ugrađene u metalni oklop. Simetrija u tim mikserima je tako dobra da od bilo kojeg ulaza (»port«), prema bilo kojem drugom, dovedeni signal bude oslabljen za 35 do 40 dB, što je vrlo mnogo na tim frekvencijama. Pri miješanju dolazi samo do umjerenih gubitaka koji iznose približno 6 do 7 dB, uz vrlo malen šum.

Važno je da ulazni i izlazni priključci budu opterećeni impedancijom od 50 Ω . Oscilator mora davati, osim stabilne frekvencije, još i odgovarajuću snagu: obično između



Sl. 10-27. Dvostruki balans-mikser (DBM) koji se može nabaviti gotov, ugrađen u maleni metalni oklop. Može se upotrebiti od najnižih frekvencija pa sve do 500 MHz ili više. Opis u tekstu



Sl. 10-28. Primjer miješanja pomoću dvostrukog balans-miksera, iza kojega slijedi međufrekventno pretpojačalo sa MOSFET-om. Opis u tekstu. Podaci za gradnju na tablici 10-1. Za prijem opsega od 144 MHz preporučuje se međufrekvencija 14 MHz, a za prijem opsega od 432 MHz međufrekvencija 28 MHz

1 i 10 mV, ovisno o proizvodu DBM. Potrebno je da se u tome pogledu držimo tvorničkih preporuka.

Da bismo mogli pravilno koristiti kakve stupnjeve za miješanje neka nam posluži sl. 10-28. Dvostruki balans-mikser (DBM) dobiva visokofrekventnu injekciju iz oscilatora preko otporničke attenuatorske mreže (300, 16 i 300 Ω). Ona prigušuje za -3 dB. To znači da za toliki iznos treba povećati snagu oscilatora. Oscilatorski ulaz stalno je opterećen sa 50 Ω .

Kada ulaz signala koji primamo ne bi imao pravilnu priključnu impedanciju došlo bi do povećanja gubitaka pri miješanju. Zato je i za UKV ulaz predviđena upotreba attenuatora (R_1 , R_2 i R_3). On donosi određene gubitke, ali osigurava dobro prilagođenje (50 Ω) na širokim opsezima prijemnih frekvencija, što je inače vrlo teško postići. Ukupan je učinak sa attenuatorom redovito bolji nego li bez njega. Na tablici 10-1 nalaze se, uz ostalo, podaci za optimalne vrijednosti takvog attenuatora.

Najosjetljiviji na prilagođenje je međufrekventni izlaz. Ako nema od-

govarajućeg prilagođenja, gubici mogu biti veći od 6 dB, što je nepoželjno, budući da onda i odnos između signala i šuma postaje nepovoljniji.

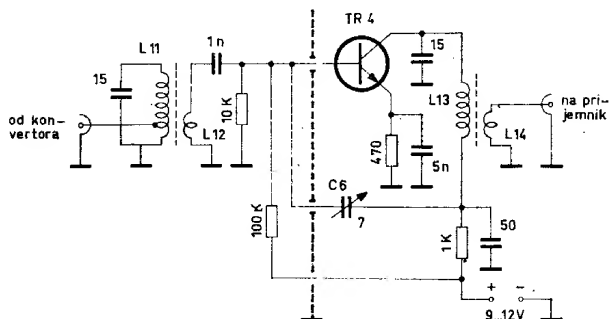
Međufrekventni signal na izlazu iz DBM je, u pravilu, vrlo slab. Zato se on vodi najprije u međufrekventno pretpojačalo, u tzv. »post-mikser pojačalo«. I ono mora biti malošumno, najbolje s tranzistorom tipa MOSFET (40673, 3N200 ili njima sličan). Potrebno prilagođenje postiže se, prema sl. 10-28, LC-sklopom (C_1 , C_2 , L_1 i C_3) kojemu dimenzioniranje dijelova ovisi o izboru međufrekvencije. Podaci o tome su na tablici 10-1. Odaberemo li međufrekvenciju od 14 MHz, potrebna je oscilatorova frekvencija od 130 MHz ($=2 \times 65$ MHz ili $3 \times 43,333$ MHz), ako želimo primiti dvometarski opseg. Za prijem 70-centimetarskog opsega je bolje izabrati međufrekvenciju od 28 MHz. Onda oscilator mora davati frekvenciju od 404 MHz ($=3 \times 134,666$ MHz ili 4×101 MHz).

Ako amater u svojoj radio-stanici ima dobar komunikacijski prijemnik, on će za prijem telegrafskih i

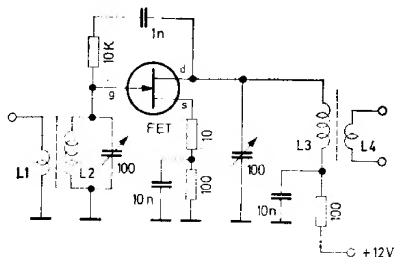
Tablica 10-1. Pregled sastavnih dijelova za mikser sa međufrekventnim pretpojačalom, prema sl. 10-28

Oznaka na shemi uređaja:	Za međufrekvenciju od:	
	14 MHz	28 MHz
C_1	470 pF	300 pF
C_2	390 „	(nema)
C_3	180 „	51 pF
C_4	39 „	18 „
C_5	56 „	27 „
C_6	300 „	150 „
L_1	9 zavoja, jedan do drugoga na promjeru od 9,5 mm; žica CuL, $\varnothing = 1$ mm	9 zavoja, jedan do drugog na promjeru od 6,3 mm; žica CuL, $\varnothing = 0,5$ mm
L_2	18 zavoja, jedan do drugoga na promjeru od 9,5 mm; žica CuL, $\varnothing = 0,4$ mm Odvojak kod 7. zavoja od gornjeg kraja, za priključak drejn-elektrode tranzistora TR	12 zavoja, jedan do drugoga na promjeru od 6,3 mm; žica CuL, $\varnothing = 0,4$ mm Bez odvojka
L_3	Kao L_2 , ali bez odvojka, montirana paralelno sa L_2 . Razmak od sredine do sredine: 29 mm	Kao L_2 , ali bez odvojka, montirana paralelno sa L_2 . Razmak od sredine do sredine: 25 mm
$R_1 = R_3$ R_2	300 Ω ; 0,25 W 16 Ω ; 0,25 W	430 Ω ; 0,25 W 11 Ω ; 0,25 W

Napomena: Svi kondenzatori kvalitetni, stirofleks. Sve zavojnice sa VF jezgricama. Feritna prstenasta prigušnica FP2 može se zamijeniti otpornikom od 10 oma/0,25 W.



Sl. 10-29. Tranzistorsko neutralizirano međufrekventno pojačalo. Možemo ga staviti između dvometarskog konvertora i kratkovalnog prijemnika koji služi kao međufrekventno pojačalo. Za tranzistore kao što su BF167 i BF173 neutralizacije ne treba. Vidi tekst



Sl. 10-30. Međufrekventno »post-mikser« pojačalo s FET-om. Na frekvencijama oko 14 ili 28 MHz može se primijeniti ovakva jednostavnija neutralizacija. Vidi tekst

SSB-signalna na ultrakratkovalnim područjima vrlo rado upotrebljavati specijalne konvertore. UKV-konvertor stavlja se ispred prijemnika za KV, koji onda služi kao dobro međufrekventno pojačalo. Ako je osjetljivost kratkovalnog prijemnika premalena za dobar prijem UKV-signalna na ovaj način, potrebno je između konvertora i KV-prijemnika staviti međufrekventno pretpojačalo, kao što je bilo ono na sl. 10-28 ili neko jednostavnije, ukoliko je možda i konvertor jednostavnije građen.

Takvo MF pretpojačalo vidimo na shemi, sl. 10-29. Tranzistori koji imaju veće vlastite, unutrašnje kapacitete, morali bi se neutralizirati da ne osciliraju (C_s , maksimalno 5 do 7 pF). Kod tranzistora, kao što su BF167 ili BF173, odnosno kod njihovih ekvivalenata BF224 ili BF225, ne treba neutralizacija. Kondenzator C_s otpada. Donji, hladni kraj zavojnice L_{1s} treba onda »blokirati« većim kapacitetom od 50 pF. Kondenzator od 10 nF bit će dobar, ukoliko je međufrekvencija oko 28 MHz.

Na sl. 10-30 vidimo kako se može FET neutralizirati na razmjerno jednostavan način: otporom od 10 k Ω i kapacitetom od 1 nF. Kod međufrekvencija oko 28 ili 14 MHz takva će neutralizacija biti dovoljna.

Oscilatori za konverziju ultravisokih frekvencija

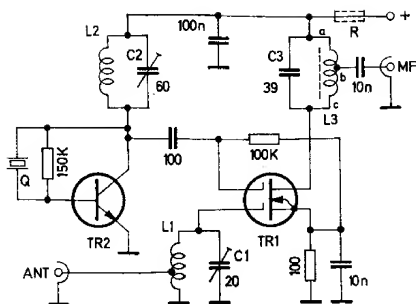
U principu može svaka vrsta oscilatora, od kojih smo veći broj opisali u poglavlju o oscilatorima, uz odgovarajuće dimenzioniranje trajnih krugova i izbor pogodnih tranzistora, poslužiti za konverziju (transpoziciju primanog signala na međufrekvenciju pomoću miješanja). Nekoliko takvih oscilatora će biti prikazano i u primjerima UKV tunera i konvertora, koji slijede. Unaprijed želimo naglasiti da pri gradnji takvih oscilatora, za prijem UKV-frekvencija, treba osobito paziti da to budu oscilatori koji imaju malen šum! Ranije se nije govorilo o malošumnim oscilatorima, ali ako su u oscilatoru, na bilo kojem mjestu, tranzistori koji već sami proizvode prevelik šum, nemoguće je načiniti malošumni prijemnik! Zato se u oscilatorima sve više upotrebljavaju malošumni bipolarni tranzistori, kao i malošumni tranzistori tipa JFET i MOSFET.

DVOMETARSKI KONVERTORI I TUNERI

Za one radio-amatere koji još nemaju iskustva u gradnji UKV prijemnika — nazovimo ih početnicima — treba naći nešto za dobar početak. Da ne izgubi »hrabrost«, početnik će se najprije zadovoljiti jednostavnijom gradnjom. Unatoč toga, uspjeh mora »od prve« biti zadovoljavajući, kako bi i početnik mogao osjetiti čar uspjeha. Najbolje će biti započeti gradnjom što jednostavnijeg konvertora za dvometarski opseg.

Konvertori za prijem u dvometarskom opsegu

Konvertor je uređaj koji, pomoću stabilne frekvencije kvarcovog oscilatora, miješanjem »prebacuje« prijemne frekvencije (npr: 144 do 146 MHz), transponira ili mijenja



Sl. 10-31. Najjednostavniji dvometarski konvertor s dva tranzistora. L_1C_1 je ulazni titrajni krug. L_2C_2 pripada kvarcovom overtonskom oscilatoru. L_3C_3 je izlazni, međufrekventni titrajni krug. Overtonska frekvencija kristala treba biti 116 MHz

(latinski: convertere = mijenjati) u novo, za prijem povoljnije, međufrekventno područje. Želimo li dvometarski opseg transponirati u desetmetarski (28 do 30 MHz), potrebna je oscilatorova frekvencija od 116 MHz.

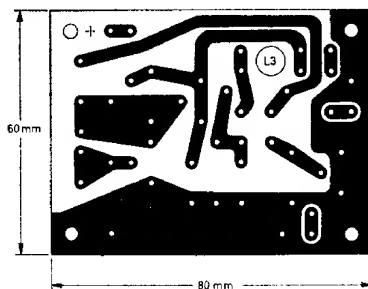
Takav konvertor, u kojemu su upotrebljena samo dva tranzistora, shematski je prikazan na sl. 10-31.

Tranzistor TR_1 je MOSFET (40673, 3N200 ili 3N201). Na njegov prvi gejt dovodi se ulazni UKV signal, direktno sa ulaznog titrajnog kruga L_1/C_1 . Zavojnica L_1 motana je lakiranom, bakrenom žicom, promjera 0,8 do 1 mm. Promjer same zavojnice je 6 mm, a broj zavoja 5. Iza prvog zavoja treba načiniti odvojak za priključak na koaksijalnu antensku priključnicu (ANT). Na drugu gejt elektrodu dolazi VF napon iz oscilatora.

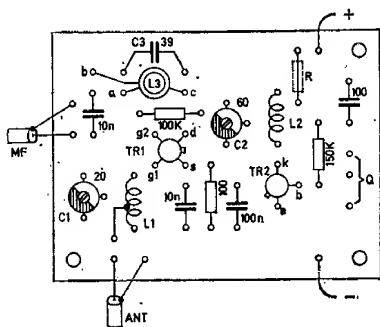
Oscilator je jednostavan kvarcov »overtonski« s tranzistorom TR_2 (BC107A). Kolektorski titrajni krug L_2/C_2 mora resonirati na 116 MHz. To je, naime, frekvencija kvarcovog overtona koji treba biti otisnut na kristalovom kućištu. Kristal Q ima osnovnu frekvenciju koja je približno pet puta niža, ali brušen je

tako da njegov peti overtone bude upravo 116,0 MHz. Zavojnica L_2 motana je jednakom žicom kao i L_1 . I ona ima isti promjer. Ukupno ima 4 zavoja. Kada se oscilatorov titrajni krug dovede blizu 116 MHz, kristal zaoscilira i onda treba trimmer C_2 ostaviti u takvom položaju da te oscilacije budu stabilne i da se pobuđuju odmah, svaki puta kad spojimo konvertor sa izvorom pogonske električne energije. Za tu svrhu će biti dovoljan napon od 9 V ili manje. Ukoliko bi — ovisno o upotrebljenom kristalu i njegovoj »aktivnosti« — osciliranje bilo otežano, može se pokušati dodavanjem kondenzatora malog kapaciteta (5 do 50 pF), između baze i emitera tranzistora TR_2 , postići da oscilator pravilnije radi.

Izlazni međufrekventni titrajni krug, L_3/C_3 mora resonirati negdje usred desetmetarskog opsega ili blizu onih međufrekvencija na koje će biti transponirani dvometarski signali koji nas najviše zanimaju. Zavojnica L_3 mora imati dobru VF jezgricu. Broj zavoja ovisi o dimenzijama jezgrice, kao i o promjeru tijela za namatanje. Uz pouzdan dipmetar (vidi str. 687) nije teško načiniti L_3 tako da sa C_3 (od 39 pF)



Sl. 10-32. Izgled štampane pločice za gradnju dvometarskog konvertora, prema sl. 10-31. Crne površine označuju bakar. Pločica neka bude od jednostrano kaširanog vitroplasta ili, samo za nuždu, od kaširanog kvalitetnog pertinaksa (»Donit«-Kamniki)



Sl. 10-33. Raspored sastavnih dijelova konvertora na pločici, prema sl. 10-32. ANT je priključak antene, MF priključak međufrekventnog pojačala ili 10-metarskog prijemnika koji vrši ulogu »baznog« prijemnika. Opis ugađanja u tekstu

resonira na odabranu međufrekvenciju.

Da se posao oko izgradnje konvertora što je moguće više olakša, na sl. 10-32 je izgled bakrenih vodova na »štampanoj pločici«. Dimenzije su joj 60×80 mm. Mora biti načinjena iz vitroplasta koji ima bakrenu foliju samo sa jedne strane.

Na onoj strani pločice, gdje nema bakra, stavljaju se sastavni dijelovi, prema rasporedu na sl. 10-33. Kad je sve drugo postavljeno na određena mjesta i uredno zalemljeno, kao posljednje stavljaju se tranzistori. Kod TR_1 treba paziti na pravilan raspored priključaka. U tome pomaže mali metalni izdanak u dnu kućišta. On se mora okrenuti onako, kako je nacrtano na sl. 10-33. I TR_2 se postavi onako, kako je određeno položajem koji se također vidi na istoj slici.

Na pločici su tri rupice za kvarcov kristal. Iskorištavaju se, dajako, samo dvije od njih, ovisno o tome da li nam je kristal u većem ili u manjem kućištu.

Ni tranzistore, ni kristal, ne valja dugo lemiti, da se ne pregriju i ne oštete. Zato lemlilo mora biti vruće (!) a lemljenje kratkotrajno.

Kositar (kalaj, »cin«) za lemljenje neka bude sa 60% kositra i 40% olova, jer je takvome tališna temperatura dovoljno niska.

Na priključnice, označene slovi-
ma »MF« spojiti ćemo koaksijalni kabel i pomoću njega ćemo ovaj konvertor priključiti na neki desetmetarski prijemnik ili na kratkovalni prijemnik koji ima i taj valni opseg. Antenu ćemo također priključiti koaksijalnim kabelom, na priključak »ANT«. Konačno ćemo priključiti napon napajanja od 9 V, ali — za prvi momenat — preko miliampermetra. Ako potrošak struje nije veći od nekih 8 do 10 mA, vjerojatno je da je sve u redu, pogotovu ako smo prije priključivanja sve spojeve pažljivo pregledali i ako smo pazili da izvor struje spojimo sa ispravnim polaritetom.

Sljedeći korak je ugađanje oscilatora. Kada on ispravno oscilira na 116 MHz (dobro je kontrolirati dipmetrom!), neće biti teško, ugađanjem ulaznog i međufrekventnog titrajnog kruga, postići prijem jačih stanica sa dvometarskog opsega.

Razumije se da priključeni desetmetarski prijemnik, koji nam vrši ulogu međufrekventnog pojačala, mora imati takav demodulator da se njime može primati ona vrsta signala koju želimo slušati.

Koje ćemo dvometarske radio-stanice moći primiti, ovisi o anteni s kojom raspolazemo za prijem dvometarskog opsega, ali također o osjetljivosti priključenog desetmetarskog prijemnika. Osjetljivost konvertora nije »vrhunska«, u svakom slučaju. Ali, s takvim se konvertorom mogu vrlo dobro primati signali najbližeg UKV-repetitora, kao i svi signali lokalnih i ne pre-dalekih amaterskih UKV stanica.

Budući da je konvertor načinjen na najjednostavniji način, ispuštena je filtracija oscilatorove frekvencije, što može — u određenim prilikama — omogućiti da u prijemno područje »upadnu« i neželjeni signali. Poznato je da svaki oscilator osim one frekvencije koju trebamo

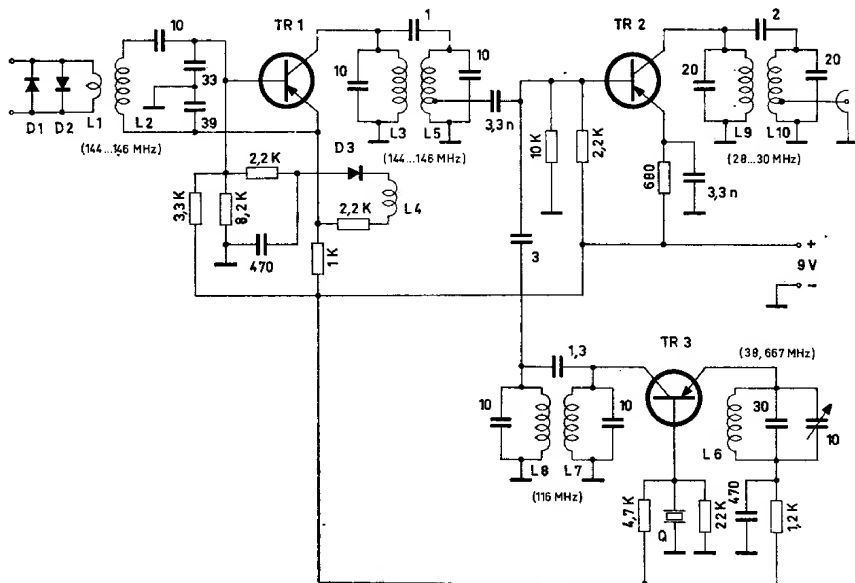
proizvoditi i njezine više harmonične. Tako se i u kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_2 osim frekvencije od 116 MHz, uz ostalo, javlja i njena druga harmonična frekvencija: 232 MHz. Ako ona s dovoljnom amplitudom dođe u stupanj za miješanje, a u mjestu gdje radi takav prijemni konvertor postoji televizijska radio-stanica koja emitira na 9. kanalu, može doći do vrlo neugodnih smetnji. Frekvencija nosioca slike na devetom kanalu iznosi 203,25 MHz. Ako je televizijski odašiljač vrlo blizu (npr. na Sljemenu kod Zagreba!) njegov će izvanredno jak signal moći da prođe do tranzistora TR_1 jer se ispred ovoga ne nalazi visokofrekventno pojačalo. Miješanjem ovih dviju frekvencija dobije se:

$232 \text{ MHz} - 203,25 \text{ MHz} = 28,75 \text{ MHz}$.

To znači da će se na prvoj međufrekvenciji, na 28,75 MHz, pojaviti snažno brujanje koje potječe od impulsa za sinhronizaciju slike.

Frekvencija brujanja odgovara frekvenciji mreže izmjenične struje. Na istu vrijednost međufrekvencije transformiraju se iz dvometarskog opsega signali kojima je frekvencija 144,75 MHz. Konačni rezultat je prema tome taj da ovo brujanje koje se čuje baš »usred banda« onemogućuje prijem ove frekvencije. Dakako, kad nema televizijskog programa, nema ni ove smetnje. Po tome ju je najlakše prepoznati! Ipak, to je samo na tome jedinom mjestu. Inače je prijem UKV stanica vrlo stabilan i — za tako jednostavan konvertor — sasvim dobar.

Za veću osjetljivost i bolju selektivnost potrebno je, ispred stupnja za miješanje, još i visokofrekventno pojačalo za dvometarske signale. Za uklanjanje neželjenih signala mora se i oscilatorska frekvencija posebno filtrirati. To je načinjeno u slijedećem primjeru.



Sl. 10-34. Dvometarski konvertor s tranzistorima tipa P-N-P i kvarcovim kristalom od 38,667 MHz za konverziju signala u desetmetarsko područje sa 144 na 28 MHz. Svi tranzistori mogu biti BF272

Dvometarski konvertor s tri tranzistora, sl. 10-34, predviđen je za rad s tranzistorima tipa P-N-P. To mogu biti germanijevi tranzistori starijeg tipa, kao što su AF139, AF180 ili njima slični, koji se još mogu pronaći kod radio-amatera. Bolji su moderniji, silicijevi tranzistori sa oznakom BF272 koji su načinjeni tako da budu direktna zamjena za navedene germanijeve tranzistore. Oni mogu doći u sva tri stupnja ovog konvertora.

Ulazni titrajni krug ima kapacitivni razdjelnik ($10+33+39$ pF) kojim je postignuto dobro prilagođenje na prvi tranzistor, TR_1 . On radi kao visokofrekventno pojačalo. Dioda D_1 i D_2 se stavljaju kao zaštita od prevelikih visokofrekventnih napona samo onda, ako takav konvertor služi u vezi s nekim predajnikom. Dioda moraju biti male silicijeve, s malenim vlastitim kapacitetom.

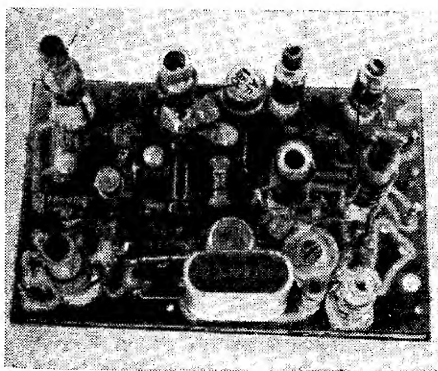
Sa zavojnicom L_3 , u kolektorskom strujnom krugu prvog tranzistora, je u induktivnoj vezi zavojnica L_4 . Ona, prema ideji koju je objavio U. L. Rohde, služi za još jednu vrstu zaštite tranzistora od prevelikih opterećenja jakim signalima. Dioda D_3 ima, dok su signali normalne amplitude, zaporni pred-

napon i ne provodi struju. Kod vrlo jakih signala ova dioda djeluje kao ispravljač kojim se postiže promjena radne tačke i smanjenje pojačanja u visokofrekventnom stupnju. Na taj način dioda D_3 pomaže zaštitno djelovanje onih dioda koje se nalaze na samom ulazu konvertora. Ako u neposrednoj blizini nema nikakvog predajnika, može se kompletna diodna zaštita ispustiti (D_1 , D_2 , D_3 , L_4 , oba otpornika od $2,2$ k Ω i kondenzator od 470 pF).

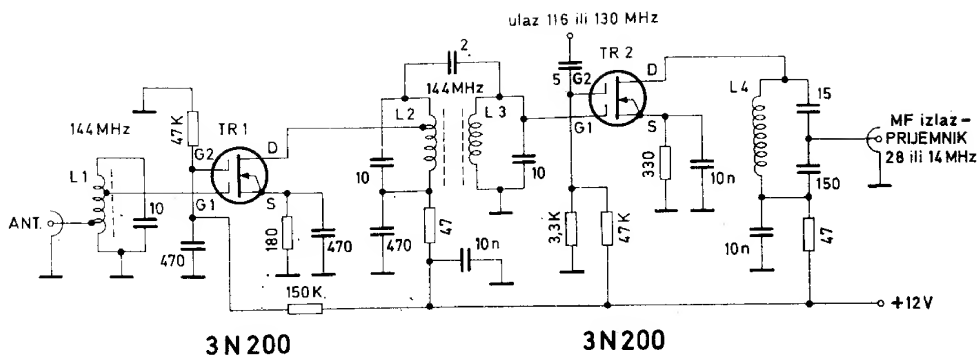
Zavojnice L_3 i L_5 s kondenzatorima od po 10 pF sačinjavaju dvometarski bandfilter s kapacitivnom spregom, preko kondenzatora od samo 1 pF. Na odvojak zavojnice L_5 , preko $3,3$ nF, spojena je baza tranzistora TR_2 . U njegovom kolektorskom strujnom krugu je međufrekventni bandfilter koji može propustiti čitavo područje od 28 do 30 MHz. To je prva međufrekvencija.

U konverzionom oscilatoru nalazi se kvarcov overtonski kristal za frekvenciju od $38,667$ MHz. Sam tranzistor TR_3 , sudjelovanjem titrajnog kruga sa zavojnicom L_6 , oscilira na toj frekvenciji kvarca. Istovremeno proizvodi frekvenciju od potrebnih 116 MHz, utrostručujući oscilatorsku frekvenciju. Oscilacije ove frekvencije, dobivene utrostručivanjem ($38,667 \times 3 = 116$), najprije se filtriraju bandfilterom sa L_7 i L_8 i tek onda, preko 3 pF, odvođe na bazu tranzistora za miješanje (TR_2). Ovakva filtracija se pokazala kao vrlo korisna za uklanjanje viših harmoničkih frekvencija koje se stvaraju u tranzistoru TR_3 .

Pogled na gotovi konvertor nam omogućuje sl. 10-35. Ulazna zavojnica je lijevo dolje. Lijevo, idući prema gore je najprije tranzistor AF 139 i dalje obje zavojnice dvometarskog bandfiltera, do njih tranzistor AF 180 za miješanje, a desno od njega dvije zavojnice izlaznog, međufrekventnog bandfiltera (28 do 30 MHz). U sredini slike dolje je kvarcov kristal ($38,667$ MHz). Iza njega se vidi drugi tranzistor



Sl. 10-35. Izgled konvertora, sagrađenog prema shemi na sl. 10-34, sa tranzistorima AF139 i dva AF180. Sva tri tranzistora mogu biti i BF272 koji su također tipa P-N-P



Sl. 10-36. Shema dvometarskog konvertora sa dva MOSFET-a. Kao oscilator može poslužiti sklop prema sl. 10-37

AF180 koji pripada oscilatoru. Desno od kristala je zavojnica L_6 , dok se L_7 i L_8 vide poviše nje. Nikakvih pregrada nema i nijedna zavojnica nije oklopljena.

Ispred 10-metarskog prijemnika koji je imao osjetljivost od 1 mikrovolt za odnos signal/šum od 10 dB ovaj konvertor je pokazao dobre rezultate. Svaku dvometarsku stanicu koju se moglo čuti s bilo kojim drugim prijemnikom, primalo se i s njime vrlo dobro.

Za pokus smo u istom konvertoru jednostavno zamijenili germanijeve tranzistore sa tri silicijeva tranzistora tipa BF272 («RIZ»). U radu konvertora nije bilo nikakve razlike. On je čak i nešto bolje radio kad smo pogonski napon od 9 povećali na 12 V.

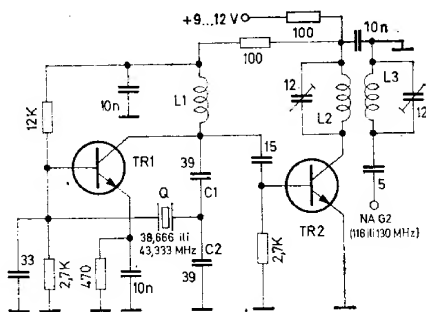
Ako se zamijeni polaritet izvora struje tako da plus pol bude uzemljen, može se na isti način sagrađiti konvertor sa silicijevim N-P-N tranzistorima (BF266).

MOSFET tranzistori 3N200, i njemu slični, mogu se uspješno primijeniti pri gradnji dvometarskih konvertora. Takav konvertor je shematski prikazan na sl. 10-36. Tu je nacrtano visokofrekventno ulazno pojačalo i stupanj za miješanje.

Ulazni titrajni krug (sa L_1) spaja se sa antenom na odvojuju iz prvog zavoja. Da bi se postigla nešto bolja ulazna selektivnost prvi

gejt (G_1) tranzistora TR_1 priključen je na treći zavoj, dok čitava zavojnica ima ukupno 5 zavoja s promjerom oko 6 mm i sa jezgricom za ugađanje. Korisno je također dodati one dvije silicijeve diode D_1 i D_2 , prema sl. 10-34, ako ovaj konvertor želimo upotrebljavati u vezi s nekim UKV predajnikom.

Titrajni krug sa zavojnicom L_2 i titrajni krug sa zavojnicom L_3



Sl. 10-37. Oscilator s dva tranzistora za konvertor prema sl. 10-36. Tranzistor TR_1 je oscilator na overtonskoj frekvenciji kristala Q. Ona može biti ili 38,666 (38,667) MHz ili 43,333 MHz, ovisno o tome koju izlaznu frekvenciju želimo postići utrostručivanjem u drugom stupnju, sa tranzistorom TR_2 . Opis u tekstu

čine dvometarski bandfilter, uključen između visokofrekventnog pojačala i stupnja za miješanje. Ove su zavojnice jednako načinjene kao i zavojnica L_1 . Drejn (D) prvog tranzistora spojen je na četvrti zavoj zavojnice L_2 , dok je zavojnica L_3 spojena na G_1 drugog tranzistora na svom gornjem »vrućem« kraju.

U visokofrekventnom pojačalu nije potrebna neutralizacija jer MOSFET radi veoma stabilno, ako smo se pri gradnji, stavljanjem pogodne pregrade, pobrinuli da izlazni titrajni krug ne može djelovati na ulazni.

Drugi gejt (G_2) MOSFET tranzistora TR_2 ima malen pozitivan prednapon i, preko kondenzatora od 5 pF, prima »injekciju« iz oscilatora (sl. 10-37). Ovisno o frekvenciji oscilatora, koja je za iznos međufrekvencije niža od prijemnih frekvencija, moramo odabrati međufrekventni titrajni krug (sa L_4). Taj titrajni krug mora resonirati u sredini desetmetarskog opsega (na 29 MHz) ako je oscilatorova frekvencija 116 MHz, ili oko 14,25 MHz ako je ta frekvencija 130 MHz. Resonancija mora biti široka pa će možda biti potrebno da se paralelno sa zavojnicom L_4 stavi prigušni otpornik. Ovaj neka ne bude premalenog otpora. Titrajni krug mora biti samo toliko prigušen da razlike u resonanciji na početku i na završetku određenog međufrekventnog opsega ne budu prevelike, po mogućnosti da ostanu u granicama do -3 dB u odnosu na maksimum. Na izlaz konvertora može se staviti i bandfilter (za opseg od 28 do 30 MHz, odnosno za 14 do 16 MHz).

Uz ispravno doziranje oscilatorskog napona na G_2 tranzistora TR_2 (150 do 200 mV) i dobro ugođene titrajne krugove bit će odnos signal/šum vrlo dobar. Mjeračem šuma (vidi u poglavlju o mjernim instrumentima i mjerenjima) mogu se, na kraju, još potražiti najbolja mjesta za odvojke na zavojnicama. Tačka, gdje je na L_1 priključena

antena, u tome pogledu je osobito kritična. Treba naći takav njen položaj, kada odnos signal/šum bude najpovoljniji. Obzirom na svojstva upotrebljenih tranzistora može se očekivati da će šum biti negdje između 2 i 2,5 dB.

Unakrsna modulacija se redovito ne zamjećuje. Da tako ostane ne treba dodavati još jedno VF pojačanje.

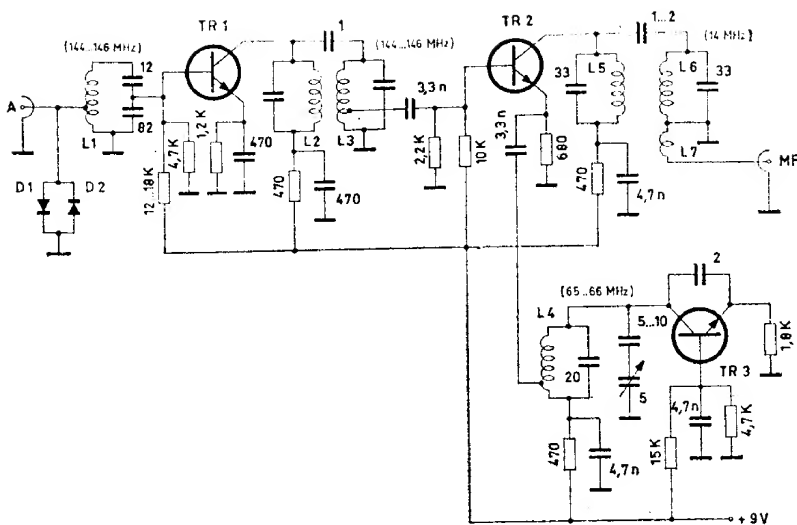
Iako bi se uz ovaj konvertor moglo upotrebiti nekoliko različitih oscilatora, dat ćemo na sl. 10-37 shemu oscilatora koji je kod nas nebrojeno puta upotrebljavan i koji je dobro služio svrsi.

Tranzistor TR_1 radi u overtoneoskom oscilatoru s kvarcovim kristalom od 38,666 (ili 43,333) MHz. Zavojnica L_1 s kondenzatorima C_1 i C_2 pripada titrajnom krugu na toj frekvenciji.

S ovim titrajnim krugom je u kapacitivnoj vezi slijedeći tranzistor, TR_2 . On ima zadaću da utrostruči frekvenciju. U njegovom kolektorskom strujnom krugu je prvi titrajni krug izlaznog bandfiltera. Bandfilter ima dvije zavojnice, L_2 i L_3 , koje su obje — trimerskim kondenzatorima od po 12 pF — ugođene na 116 ili na 130 MHz. Izbor kvarca i izlazne frekvencije ovisi o tome kakvu smo međufrekvenciju izabrali, u opsegu od 28 ili od 14 MHz. Izlazni kondenzator od 5 pF je još jedanput nacrtan na sl. 10-36.

Dvometarski tuneri

Ako nemamo pogodnog kvarcovog kristala, ne možemo načiniti nijedan od opisanih konvertora. Preostaje ipak mogućnost da prijemni konvertor načinimo tako da umjesto kvarcovog upotrebimo neki drugi oscilator. Pokazalo se, da frekvencija drugih vrsta oscilatora, osobito kod vrlo visokih frekvencija na UKV područjima, nije toliko konstantna da bismo mogli oscilator upotrebljavati bez popravljivanja



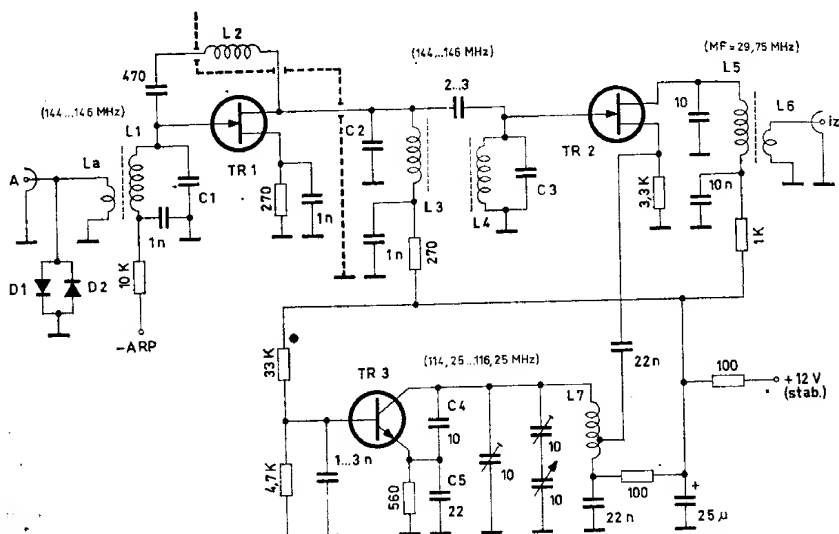
Sl. 10-38. Dvometarski UKV tuner s tranzistorima. Oscilator radi na polo-
vičnoj vrijednosti potrebne frekvencije. Vidi tekst

frekvencije. Kad je već tako, onda je bolje da načinimo oscilator, ko-
jemu ćemo *frekvenciju uvijek moći
dovesti na potrebnu vrijednost*. To
su onda oscilatori s promjenljivom
frekvencijom (VFO). Mijenjajući
frekvenciju mi ćemo odabrati ono
što želimo primati. Takav uređaj za
konverziju dvometarskih (ili nekih
drugih UKV) frekvencija u odabra-
no međufrekventno područje nazi-
va se »tuner« (čitaj: tjuner; od
engl. riječi: *to tune* = ugađati glaz-
beni instrument ili radio-uređaj na
određenu frekvenciju).

Prvi tranzistor, TR_1 u dvome-
tarskom tuneru (sl. 10-38), radi kao
visokofrekventno pojačalo. Na ula-
zu su zaštitne diode D_1 i D_2 . Ulazni
titrajni krug ima kapacitivni raz-
djelnik za priključak baze tranzi-
stora. Iza TR_1 slijedi UKV bandfil-
ter za opseg 144 do 146 MHz koji
formiraju titrajni krugovi sa L_2 i
 L_3 , u međusobnoj kapacitivnoj vezi
(1 pF). Neutralizacija ovog visoko-
frekventnog stupnja nije potrebna,
ako se u njemu nalazi savremeni
UKV tranzistor.

Istovrsni tranzistor može poslu-
žiti i za miješanje (TR_2). Njegova
je baza preko 3,3 nF spojena na od-
vojak zavojnice L_3 , dok je emiter,
također preko 3,3 nF, spojen na od-
vojak oscilatorske zavojnice L_4 . U
kolektorskom strujnom krugu je za-
vojica L_5 koja s kondenzatorom
od 33 pF predstavlja prvi titrajni
krug međufrekventnog bandfiltera.
Ovaj je s drugim titrajnim krugom,
 L_6 i 33 pF, kapacitivno vezan (1 do
2 pF). Međufrekvencija se može iza-
brati u blizini 20-metarskog ama-
terskog opsega (oko 14 MHz), ako
raspoložemo dovoljno osjetljivim
prijemnikom za tu frekvenciju. Ta-
kav nam prijemnik može onda po-
služiti kao međufrekventno pojača-
lo. Pri tome treba izlaznu priključ-
nicu tunera (MF) koaksijalnim ka-
belom spojiti na ulaz kratkovalnog
prijemnika.

Sam oscilator radi s tranzisto-
rom TR_3 koji može biti istoga tipa
kao i prethodna dva. On oscilira na
području upola nižih frekvencija od
onih koje bismo trebali. Ako je na-
ime međufrekvencija 14 MHz, a pri-



Sl. 10-39. UKV tuner za 144 MHz sa dva FET-a i jednim silicijevim bipolarnim tranzistorom. Opis u tekstu

jemno područje 144 do 146 MHz, onda bi — ako izaberemo nižu oscilatorovu frekvenciju — ovaj trebao da oscilira od 130 do 132 MHz. Ovo su za tranzistorski oscilator, koji nije kontroliran kvarcom, tako visoka frekvencija da ne možemo očekivati da budu dosta stabilne. Zato se prakticira izgradnja oscilatora za područje niže frekvencije (65 do 66 MHz) tako da druga harmonična frekvencija oscilatora ima potrebnu vrijednost. U tranzistorском se oscilatoru redovito pojavljuje, uz osnovnu frekvenciju, i druga harmonična. Njena je amplituda obično dovoljna za miješanje u tranzistorskom mikserском stupnju. Stabilnost frekvencije je tako mnogo bolja.

Povratna veza u oscilatoru je kapacitivna, preko 2 pF, između kolektora i emitera.

Svi tranzistori mogu biti jednaki, silicijski N-P-N.

Dvometarski tuner se može uspješno sagraditi i pomoću FET-a. Njihova je primjena korisna za visokofrekventno pojačanje i za miješanje, dok u oscilatoru nisu neophodni.

Dva FET-a i jedan »obični« tranzistor ima tuner na sl. 10-39. Budući da u visokofrekventnom stupnju FET ima uzemljenu surs-elektrodu, neizbježiva je primjena neutralizacije. Ona je izvedena na ranije opisani način, pomoću neutralizacijske zavojnice L_2 . Gejt-elektroda se spaja na kraj ulaznog titrajnog kruga L_1C_1 , budući da je ulazna impedancija FET-a visokoomska. Dvometarski bandfilter, L_2C_2 i L_4C_3 , također nema nikakvih odvojaka na zavojnicama.

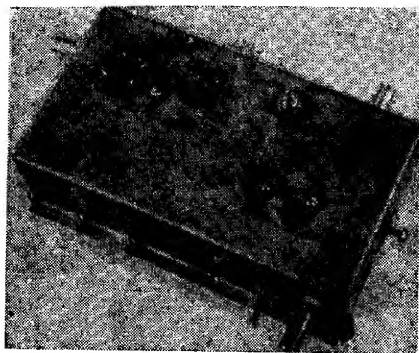
Međufrekvencija je ovdje odabrana nešto viša nego li u predašnjem primjeru, da bi oscilatorova frekvencija mogla biti niža. Za međufrekvenciju u blizini 10-metarskog amaterskog opsega (npr. 29,75 MHz) oscilatorova se frekvencija mora mijenjati između 114,25 i 116,25 MHz. Na shemi je prikazan način kako se može sagraditi tranzistorski oscilator za ove frekvencije. Preduvjet je da se za gradnju takvog oscilatora izaberu samo najkvalitetniji sastavni dijelovi. Sam tranzistor TR_3 mora imati najbolja ultrakratkovalna svojstva: vrlo visoku graničnu frekvenciju i odlič-

no hlađenje. Za tu svrhu se domaći tranzistor BF173 ili BF273 pokazao vrlo dobrim, kao i BF260. Ne raspolažemo li s takvim specijalnim UKV tranzistorom, možemo i kod ovakvog FET-tunera upotrebiti miješanje s drugom harmoničnom frekvencijom oscilatora, kao što je bilo opisano malo prije.

PRIJEMNI UREĐAJI ZA 432 MHz I VIŠE

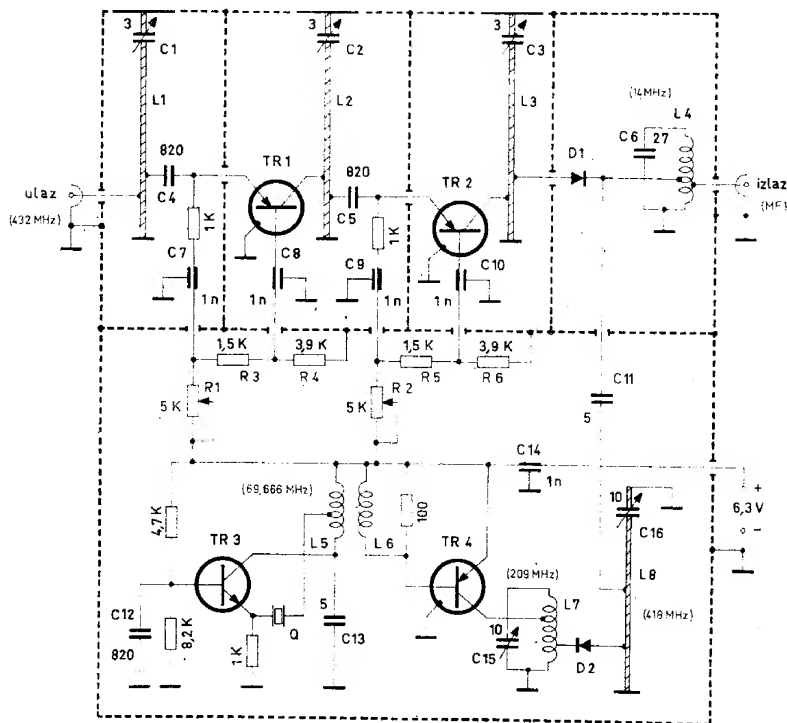
Konvertori za 70-centimetarsko područje

S tranzistorima se može načiniti dobar konvertor za 70-centimetarsko područje. I dimenzije mogu biti male.



Sl. 10-40. Konvertor za prijem opsega od 432 MHz

Primjena koaksijalnih, šupljih resonatora omogućuje lako prilagođenje jednostavnim pomicanjem



Sl. 10-41. Shema konvertora za prijem 432 MHz, prema sl. 10-40. C_1 , C_2 i $C_3 = 3$ pF maks; $C_{16} = 10$ pF; L_1 , L_2 , L_3 i L_8 imaju odvojke i to: L_1 iza 25 i 38 mm; L_2 iza 12,5 i 25 mm; L_3 iza 19 i 32 mm; L_8 iza 12,5 i 32 mm, računajući od uzemljenog kraja. Ostalo u tekstu

priključnih tačaka uzduž srednjih vodova. Osim toga ovakvi resonatori imaju i daleko veći *Q-faktor* i omogućuju veću selektivnost od one koja bi se na tim frekvencijama mogla postići primjenom običnih zavojnica. Selektivnost je baš kod tranzistora vrlo važan faktor jer su oni osjetljivi na smetnje od jakih signala izvan željenog opsega, a također zbog veće sigurnosti od zrcalnih frekvencija kod međufrekvencije od 14 MHz koja je ovdje bila izabrana i koja je razmjerno niska. Ipak, zahvaljujući upravo velikom *Q-faktoru* titrajnih krugova, postignuto potiskivanje zrcalnih frekvencija iznosi oko 40 dB. Pojačanje ispred stupnja za miješanje može se »natjerati« također do blizu 40 dB, ako je potrebno.

Takav 70-centimetarski konvertor, koji nije preteško načiniti amateru ako je već gradio UKV prijemnike za 2-metarski opseg, vidimo na sl. 10-40, 10-41 i 10-42.

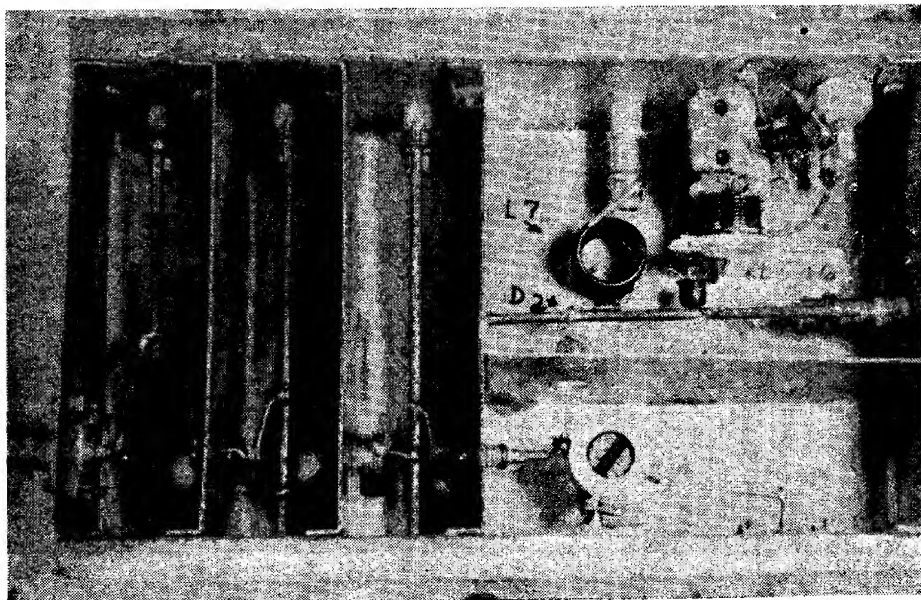
Razdjelnici napona za visokofrekventne stupnjeve, koji imaju

»uzemljene« baze nalaze se izvana (sl. 10-40) kako bi se lakše mogli mijenjati u svrhu postizavanja što boljih radnih uvjeta.

U originalnom modelu su tranzistori TR_1 , TR_2 i TR_3 bili tipa P-N-P, a TR_4 tipa N-P-N. Kao TR_1 služio je 2N3280 (»Motorola«) a kao TR_2 i TR_4 tranzistori 2N3284 (»Motorola«). Umjesto ovih američkih mogu se uspješno upotrebiti domaći UKV (P-N-P) tranzistori BF272 (»RIZ«). TR_3 bio je silicijev 2N706. Umjesto njega se može uzeti domaći BSJ62 ili BF261.

Pri upotrebi silicijevih tranzistora pogonski napon može biti viši, npr. oko 9 V.

Kao što se može vidjeti na sl. 10-42, visokofrekventni krugovi za 432 MHz su smješteni u tri pregratka, na lijevoj strani slike. U njima se vide i bakrene šipke L_1 , L_2 i L_3 koje pripadaju koaksijalnim titrajnim krugovima. Ove šipke mogu biti načinjene od pune bakrene žice promjera 2 mm ili od tanke bakrene cijevi kojoj vanjski promjer ne



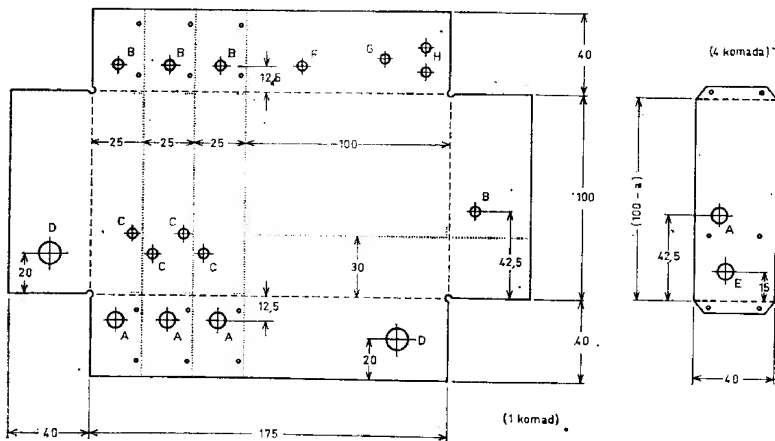
Sl. 10-42. Unutrašnji raspored dijelova u konvertoru za 432 MHz

treba biti veći od 3 mm. Za tu svrhu bi vrlo dobro mogle poslužiti mjedene (mesingane) cjevčice od »mina« iz tzv. »kemijskih« pisaljki, ako ih posrebrimo. One su na donjem kraju (na sl. 10-42) »uzemljene«, tj. zalemljene na limenu stranu šasijske, dok se na svom gornjem kraju mogu ugoditi promjenljivim cjevčastim kondenzatorima C_1 , C_2 i C_3 , maksimalnog kapaciteta 3 pF.

Dioda D_1 koja služi za miješanje (uporedi sa shemom na sl. 10-41) je provučena kroz otvor na stijenki trećeg pregradka, čime se postiže jednostavna i kratka veza sa izlaznim međufrekventnim titrajnim krugom L_4C_8 , smještenim u posebnom pregradku, desno dolje. Najširi prostor, desno gore, služi za smještaj oscilatora i umnoživača frekvencije. Poslednji titrajni krug toga lanca, L_8C_{16} , ima induktivitet u obliku šipke, kao i ostali titrajni krugovi za najviše frekvencije. Zavojnice L_5 , L_6 i L_7 imaju standardni oblik. Sasvim desno gore, na sl. 10-42, je keramičko podnožje za kvarcov kristal koji se može utaknuti s vanjske strane šasijske, sl. 10-40 dolje, desno.

Bakreni ili posrebrjeni mjedeni lim, deo 0,6 do 0,8 mm, služi za gradnju šasijske. Njene glavne dimenzije i veličina limenih pregradaka vide se na sl. 10-43. Promjeri rupa koje treba izbušiti u limovima nisu označeni jer to ovisi o onim sastavnim dijelovima koje će neki graditelj moći da nabavi. Položaj i centri svih rupa treba ipak da ostanu na svojim mjestima, kako je to ucrtano na slici. Ovdje su slovima A označene rupe u koje treba učvrstiti šipke L_1 , L_2 , L_3 i L_8 ; slovima B rupe za učvršćenje promjenljivih kondenzatora C_1 , C_2 , C_3 i C_{16} ; slovima C rupe za montažu provodnih kondenzatora C_7 , C_9 , C_9 i C_{10} . Na otvore D dolaze koaksijalne priključnice, kroz E prolaze priključne žice za emitere tranzistora TR_1 i TR_2 , te dioda D_1 . Kod F se učvršćuje kondenzator C_{15} , kod G zavojnica L_5 sa L_6 , a kod H podnožje kvarcovog kristala. Samo na trećoj pregradi je otvor A dok se otvor E nalazi na svima. Kroz taj otvor na četvrtoj pregradi prolazi jedna od priključnih žica kondenzatora C_{11} .

Kad su svi limovi skrojeni može ih posrebriti, ako za to imamo prilike. Ako ne, onda ne smijemo zaboraviti da je bakar bolji od mje-



Sl. 10-43. Glavne dimenzije i oblik limova za gradnju šasijske i pregradaka u tranzistorskom konvertoru za prijem 432 MHz

di, pa ćemo sve limove skrojiti iz bakrenog lima, formirati šasiju, zalemiti je i onda još ugraditi pregrade. One mogu biti učvršćene šarafima, a povrh toga još i zalemljene da kontakti budu što bolji.

Najprije treba montirati sve koksijalne titrajne krugove, onda tranzistore, pa sve ostalo. Kod priključivanja tranzistora treba paziti da se ne pregrijevaju. To znači da lemiti treba sa *vrućim* lemilom, bez dugotrajnog zagrijavanja. Pri tome treba priključne žice držati među čeljustima plosnatih kliješta koje odvođe toplinu. Samu lemilicu je dobro uzemljiti.

Montiranje i spajanje ostalih sastavnih dijelova neće predstavljati problem, osim možda emiserskih priključaka u visokofrekventnom dijelu. Ovdje treba otpornik od 1 k Ω najprije zalemiti na provodni kondenzator C_7 , zatim kondenzator C_4 između šipke L_1 i drugog kraja otpornika, blizu otvora na pregradi, kroz koji prolazi emiserska priključna žica tranzistora TR_1 . Pri tome treba preko ove tranzistorske žice navući komadić izolirajuće »bužir-cijeve«, pa onda zalemiti na tačku u kojoj su spojeni kondenzator C_4 i otpornik. Jednako treba postupiti i u sljedećem pregratku.

Vjerojatno će biti prilično teško nabaviti provodne kondenzatore C_7 , C_8 , C_9 i C_{10} . U takvom slučaju ćemo određene vodove provući kroz izolatorske čepiće koje stavimo u pripremljene rupe na šasiji (C na sl. 10-43). Ove vodove treba najkraćim putem blokirati na šasiju plosnatim keramičkim kondenzatorima od po 1 do 2 nF kapaciteta. Takvi su kondenzatori bili upotrebljeni i kod originalnog modela, pa ih vidimo u obliku okruglih pločica na gornjoj strani šasije sl. 10-40.

Zavojnica L_4 treba namotati na tijelo promjera 10 mm koje ima dobru kratkovalnu VF jezgricu. Potrebno je oko 22 zavoja lakirane, bakrene žice 0,4 mm. Odvojci su iza 5. i iza 11. zavoja. I zavojnice L_5 i L_6 dolaze na takvo tijelo. L_5 ima 8

zavoja sa odvojkom iza prvoga, računajući od hladnog kraja. To je onaj kraj zavojnice koji *nije* spojen s kolektorom tranzistora TR_3 . Zavojnica L_6 je na istom tijelu, uz hladni kraj zavojnice L_5 . Ona ima 2 zavoja, namotana istim smjerom kao L_5 .

Zavojnica L_7 ima 4,5 zavoja koji su namotani na promjeru od 9 mm, bez tijela. Žica je debela 1 mm, a dužina zavojnice je oko 15 mm. Odvojci dolaze iza prvog i iza drugog zavoja.

Kvarcov kristal treba da bude brušen za direktno pobuđivanje na svom petom »overtonu«. Ta je frekvencija na njemu napisana i za međufrekvenciju od 14 MHz ona treba da bude 69,666 MHz. Dok je neki osjetljivi apsorpcioni valomjer (ili grid-dip-metar koji sam ne oscilira), namješten na 70 MHz i svojom zavojnicom primaknut zavojnici L_5 oscilatora, treba polagano okretati jezgricu da ona ulazi sve dublje u unutrašnjost L_5 . Oscilator će naglo »uskočiti« otprilike kad jezgrica bude dopola ušarafljena, da se oscilacije postepeno oslabljuju ako dalje okrećemo jezgricu istim smjerom. Pravilan položaj jezgrice je oko četvrt okretaja iza onoga u kojem su se pojavile oscilacije.

Ako nekom visokofrekventnom sondom dotaknemo kolektor tranzistora TR_4 ili odvojak na zavojnici L_7 na koji je priključena dioda D_2 , moći ćemo utvrditi postojanje VF napona koji se kondenzatorom C_{15} može dovesti do maksimuma. U blizini L_7 će samo vrlo osjetljivi apsorpcioni valomjer izmjeriti frekvenciju 209 MHz. Normalni grid-diper je redovito za tu svrhu premalo osjetljiv.

Kad smo to postigli, treba VF sondom dotaći drugu stranu diode D_2 , tj. ondje gdje je ona spojena sa L_8 . Pri tome neka je kondenzator C_{16} stavljen na svoj maksimalni kapacitet. Smanjujući njegov kapacitet naći ćemo resonanciju na dva mjesta. Druga resonancija je ona prava, na 418 MHz. U tačnost frek-

vencije se možemo uvjeriti improviziranim Lecherovim žicama ili vrlo osjetljivim apsorpcionim valomjerom. Ovakvo ugađanje oscilatora i umnoživača frekvencije je vrlo važno za ispravan rad konvertora.

Ugađanje visokofrekventnih titrajnih krugova za 432 MHz također je važno, ali je mnogo jednostavnije, ako raspolažemo pogodnim signalom takve frekvencije. Za ovu svrhu može poslužiti treća harmonička frekvencija jačeg dvometarskog signala, ako npr. uključimo naš dvometarski odašiljač, postavljen blizu 70-centimetarskog konvertora koji ugađamo. Frekvencija dvometarskog davača mora biti između 144,0 i 144,1 MHz, a njegov izlaz mora biti spojen na prikladnu lažnu (»umjetnu«, »veštačku«) antenu. Bez takvog signala bi jedva bilo moguće ugoditi tri titrajna kruga od kojih svaki ima prilično visok Q-faktor.

Na izlaz konvertora priključimo 20-metarski amaterski kratkovalni prijemnik, a na ulaz konvertora u taknemo 15 do 17 cm dugu krutu žicu koja će služiti kao pomoćna antena. Istovremeno koaksijalnu ulaznu priključnicu premostimo sa neinduktivnim otpornikom od 50 do 60 Ω . Promjenljive otpornike R_1 i R_2 stavimo na najveću vrijednost otpora i , u prisutnosti signala, dotjerujemo C_1 , C_2 , C_3 i L_4 tako da se na 20-metarskom prijemniku čuje najjači signal, što možemo kontrolirati i na S-metru ako ga ovaj ima. Kad smo to postigli pokušajmo popraviti položaj kondenzatora C_{16} . Već smo rekli da će biti nekoliko resonancija, ali samo kod 418 MHz će biti konverzija optimalna i signal na 20-metarskom prijemniku najjači. To je onda i »pravi« položaj kondenzatora C_{16} .

Sada ćemo izvaditi iz ulazne koaksijalne priključnice pomoćnu antenu. Neinduktivnim otpornikom od 50 do 60 Ω , malih geometrijskih dimenzija (npr. četvrtvatnim), premostit ćemo ulaznu priključnicu i polagano smanjivati otpor R_1 sve

dok prvi VF stupanj počne oscilirati. Tada malo povećamo R_1 da oscilacije prestanu a pojačanje da bude maksimalno. U prvom stupnju je potrebno zadržati veliko pojačanje jer bi inače odnos signal/šum bio lošiji. Pojačanje u drugom stupnju ovisi o otporniku R_2 . Ovaj ćemo postaviti na takvu vrijednost da postignemo ukupno pojačanje koje nam je potrebno obzirom na priključeni prijemnik. Treba naglasiti da drugi stupanj više ne utječe na kvalitetu prijema jer ne mijenja prvim stupnjem postignuti odnos između signala i šuma. Taj će odnos biti vrlo dobar, ako smo u konvertor ugradili navedene tipove tranzistora.

Odvojci na L_1 , L_2 i L_3 , na mjestima koja su navedena uz sl. 10-41, osigurat će tako dobar rad konvertora da će većina graditelja biti zadovoljna. Tko želi ostvariti najbolji mogući odnos signal/šum, može to postići strpljivim traženjem još boljih mjesta za odvojke. To je moguće samo onda ako se raspolaže specijalnim signal-generatorom kod kojega priključni koaksijalni kabel ima osiguranje od refleksije i stojnih valova. Uz nepovoljne ove odnose konvertor je nestabilan, što potpuno onemogućuje njegovo daljnje poboljšavanje.

Uz pravilno opterećenje antenske priključnice prvi će VF stupanj započeti da oscilira kad napon između one tačke gdje se sastaju R_1 i R_2 i šasijske dosegne oko 5 V. Ako oscilacija nema ni onda kad je R_1 smanjen na minimum, treba ili C_1 spojiti dalje od uzemljenog kraja šipke L_1 ili pomaknuti antenski odvojak bliže »zemlji«.

Može se dogoditi da prvi VF stupanj oscilira već kod napona koji je manji od 4,5 V. Tada se antena mora tješnije vezati na L_1 pomičući njezin odvojak naviše po toj šipki, ili priključak kondenzatora C_1 nanizati. Pri tome treba nastojati da se postigne što veće pojačanje uz najmanji mogući šum.

Maksimalno pojačanje koje se može postići prvim stupnjem iznosi oko 20 dB. Uz to će propusni pojas frekvencija za razliku od 3 dB biti manji od 300 kHz. Optimalni odnos signal/šum je ovdje lakše postići ugađanjem signalgeneratorom ili pomoću *vrlo slabih* signala nego li upotrebom generatora šuma.

Razumije se da se takav konvertor može sagraditi i za međufrekvenciju od 28 MHz. Kvarcov kristal mora onda biti brušen za frekvenciju od 67,333 MHz na koju treba da je ugođena i zavojnica L_5 . Titrajni krug L_7C_{15} ugađa se na 202 MHz, a L_8C_{16} na 404 MHz. Miješanjem ove frekvencije sa 432 MHz izlazi međufrekvencija od 28 MHz.

Ovakvi UKV konvertori za decimetarske valove, koji se grade iz limenih pločica, ne privlače i ne oduševljavaju one amatere koji ne znaju obrađivati lim. Nisu to teški poslovi, ali mnogi nemaju čime rezati i savijati lim i odustaju od ovakvih gradnja. U novije vrijeme amateri si pomažu na taj način da umjesto limenih pločica upotrebljavaju bakrom kaširani pertinaks ili, još bolje, kaširani vitroplast. Iz takvog se materijala lako mogu izrezati sve potrebne stranice, pregrade, osnovice i poklopci za UKV-uređaje koji onda imaju izgled kao na sl. 10-42. Vitroplast-pločice se lako režu i običnim škarama za lim, a lako ih je međusobno zalemiti da sve bude dobro i uredno načinjeno. Na nekim mjestima će biti spretnije iskoristiti jednostruko, a na drugima dvostruko kaširani materijal. Tako izvana dolazi obično jednostruko kaširan materijal koji se okrene tako da bakar »gleda« u unutrašnjost. Pregrade su često od dvostruko kaširanog materijala, ali tada ih treba zalemiti sa obje strane. Amaterska snalažljivost mnogo pomaže pri tome, kao i savjeti onih koji su već radili na taj način.

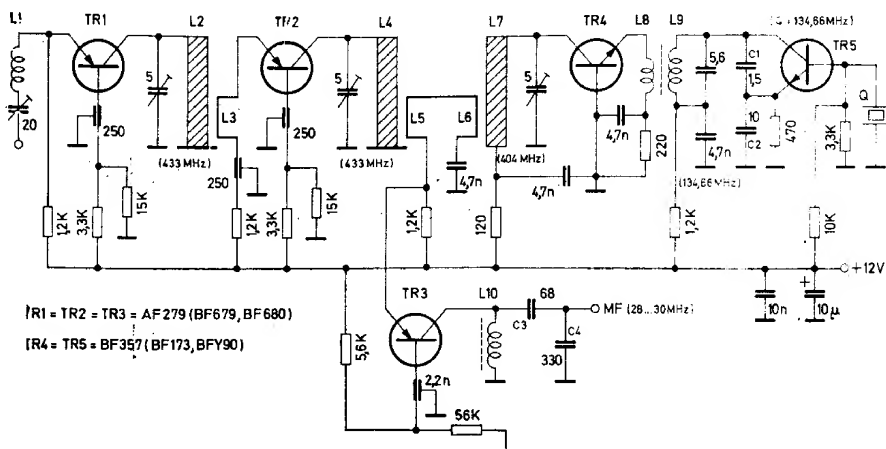
Veći broj će biti onih koji nastoje da izbjegnu »limariju«, zadovoljavajući se čak i sa malo manjim uspjesima. »Štampane« bakrene tra-

ke na vitroplastu moramo ipak smatrati kompromisnim rješenjima, ako ih uporedimo sa resonatorima koaksijalnog tipa (sl. 10-42). Unatoč toga i mnoge tvornice, koje proizvode pojedine sklopove i pripremaju »kitove« za amatere, idu takvim putem.

Shema konvertora za 432 MHz sa štampanim trakovima, po uzoru na amatere dobro poznati i često upotrebljavani »MINIX-MRK-10«, vidimo na sl. 10-44. On ima dva stupnja visokofrekventnog pojačanja s tranzistorima koji su osobito pogodni za ove frekvencije: AF 279, ili BF 679. Oscilator ima također dva stupnja. Tranzistor TR_5 je oscilator na frekvenciji 134,666 MHz, za koju je brušen i overtonski kvarc Q . Tranzistori BF 357, BF 173 i BF 224 ovdje su potpuno zadovoljili. TR_4 je utrostručivač frekvencije na 404 MHz. Osim BF 173 ili BF 224 pokazao se kao dobar utrostručivač na ovim vrlo visokim frekvencijama i tranzistor BFY 90.

Bakreni traci L_2 , L_4 i L_7 predstavljaju induktivitete titrajnih krugova. Prva dva treba sa njihovim trimerskim kondenzatorima (maksimalno 5 pF!) dovesti u rezonanciju na 433 MHz. Treći mora resonirati na 404 MHz. Petlja od žice L_3 i međusobno spojene petlje L_5 i L_6 omogućuju induktivnu vezu sa pripadajućim titrajnim krugovima. Dvostruka petlja L_5+L_6 uzima dvije frekvencije, ulaznu i oscilatorsku, odvođeci ih obje na tranzistor TR_3 , gdje se miješaju i daju međufrekvenciju u opsegu od 28 do 30 MHz, omogućujući prijem 70-centimetarskog UKV područja između 432 i 434 MHz. Kao međufrekventno pojačalo služi neki 10-metarski prijemnik, zajedno sa svim svojim stupnjevima.

Antena se priključuje na koaksijalnu priključnicu kod A. Trimerski kondenzator od 20 pF i zavojnica L_1 formiraju serijski titrajni krug za prijemne frekvencije. Treba ga ugoditi tako da prilagođenje na antenu bude najbolje. To se postiže onda



Sl. 10-44. Shema konvertora »Minix-MRK-10« kao primjer 70-centimetarskog konvertora za transpoziciju u desetmetarski opseg. Moguće je postići i transpoziciju u dvometarsko područje, vidi tekst

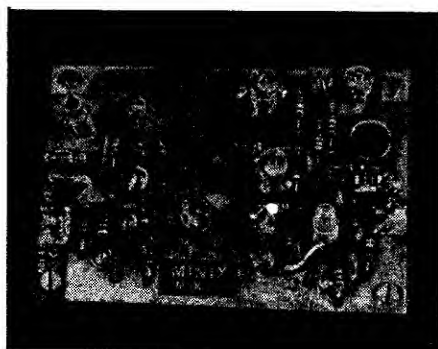
kada se 70-centimetarski signali *najglasnije* čuju, uz što manji šum. Da se to postigne treba ugađanje obaviti primajući neki *v-r-l-o s-l-a-b-i* signal, na granici šuma. Kad se takav signal najbolje čuje, postigli smo *najpovoljniji odnos signal/šum!* Prije toga, razumije se, morali smo i ostale titrajne krugove dovesti na »maksimum«. Oscilatorski titrajni krug je tu mali izuzetak. Jezgricu kojom se ugađa induktivitet zavojnice L_9 moramo ostaviti u takvom položaju, neposredno uz maksimum, da oscilacije na overtonejskoj frekvenciji kvarca odmah »uskoče«, čim priključimo napon od 12 V (za napajanje konvertora).

Konvertor »MINIX-MRK-2« razlikuje se od opisanog samo po tome što je načinjen za međufrekvenciju od 144 do 146 MHz. To znači, da se iza ovoga ne priključuje desetmetarski, već *dvometarski* prijemnik. U tu svrhu kvarc Q mora biti za frekvenciju 96,0 MHz. Utrostručivanjem se dobije 288 MHz, potrebnih za transpoziciju 70-centimetarskog valnog područja u dvometarsko (432 — 288 = 144). Jačim zatvaranjem trimera može se L_7 ugoditi i na 288 MHz, bez ikakvih drugih

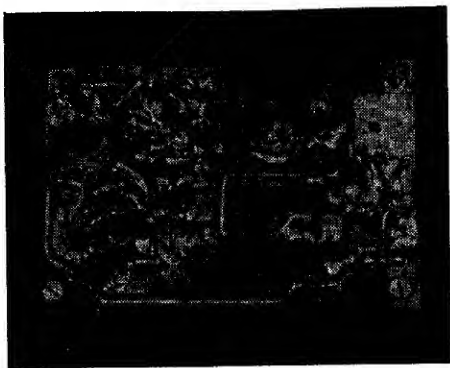
preinaka. Izlazni međufrekventni titrajni krug, u kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_5 mora se promijeniti. C_3 ima, za tu svrhu, samo 15 pF, a C_4 također manje: 68 pF. I zavojnica L_{10} mora biti manja. Najbolje je odrediti je *dipmetrom*, i onda ugraditi i ugoditi na maksimum signala (ili šuma!) usred MF opsega (145 MHz).

Sl. 10-45 i sl. 10-46 pokazuju kako je načinjen takav konvertor.

U našem časopisu »Radio-ama-ter«, br. 6/1980. opisao je YU2LW



Sl. 10-45. Pogled na 70-centimetarski konvertor »Minix-MRK-10«



Sl. 10-46. Isti konvertor s druge strane; lijep je primjer uzorne gradnje uređaja za tako visoke frekvencije

uspjelu konstrukciju 70-centimetarskog konvertora. Upotrebljena je štampana pločica za koju je potreban vitroplast kaširan bakrom samo sa jedne strane. Do danas je već mnogo naših radio-amatera sagradilo taj konvertor i može se samo preporučiti da to i ostali, koji su zainteresirani za prijem na decimetarskim valovima, načine. Tamo je vrlo dobar opis gradnje. Zato nećemo ovdje ponavljati što je tamo rečeno.

Konvertor za prijem amaterskog opsega od 1296 MHz

Prelaženjem na sve više frekvencije nailazimo uvijek na nove probleme koje treba rješavati pronalazeći nove puteve. Prijemna tehnika za frekvencije preko 1000 MHz (1 GHz) bitno se razlikuje od onoga na što smo se privikli radeći s prijemnicima za niže frekvencije.

Bitnu novost, kojom se tehnika prijema ovih ultravisokih frekvencija razlikuje od dosadašnje tehnike za niže frekvencije, jest — uz ostalo — primjena tzv. »interdigitalnih« filtera i »interdigitalnih« konvertora. Ne, to nije u vezi s digitalnom elektroničkom tehnikom! U digitalnoj elektronici se naziv (engl. »digit« = brojka, znamenka

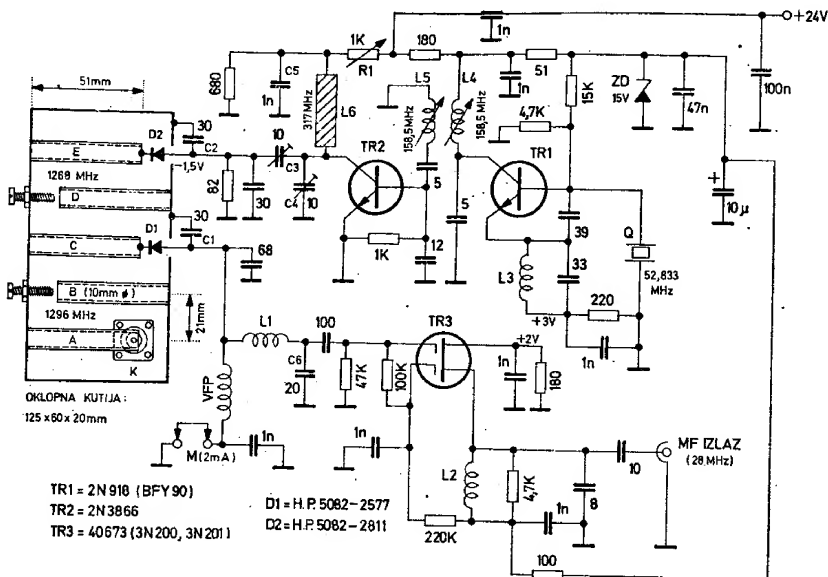
od 0 do 9) tiče izražavanja različitih veličina pomoću brojaka koje se čitaju direktno na nekom pokazivaču (»display«) a ne posredno, prema otklonu kazaljke na mjernom instrumentu. U tehnici ultravisokih frekvencija riječ »interdigitalan« doslovno znači »između prstiju« (latinski: »inter« = između; »digitus« = prst). Da se doista radi o tzv. slikovitom izražavanju možemo se uvjeriti jednim pogledom na sl. 10-47.

Na lijevoj strani sl. 10-47 je interdigitalni filter/konvertor za prijem signala kojima je frekvencija u 24-centimetarskom amaterskom opsegu. Bakrene, posrebrene cijevi A, B, C, D, i E montirane su na stijenke oklopne kutije ($125 \times 60 \times 20$ mm) tako da su tri s jedne i dvije s druge strane. One naizmjenice ulaze u postojeće međuprostore, kao prsti jedne ruke među prste druge ruke.

Svaka od tih bakrenih cijevi ima vanjski promjer 10 mm i dužinu 51 mm. Razmak od sredine cijevi do sredine susjedne je 21 mm, a montirane su simetrično u oklopnoj kutiji. Ova je također načinjena od bakra i neka bude posrebreana, ako je moguće.

Na koaksijalnu priključnicu K spaja se antena za prijem frekvencija u opsegu od 1296 MHz (= 1,296 GHz). Pomoću dva vijka koji se mogu više ili manje uvrnuti u šuplinu cijevi B i D, dovode se u resonanciju usred prijemnog opsega.

Želimo li da nam međufrekvencija bude oko 28 MHz, potrebno je da kao konverzijsku frekvenciju imamo 1268 MHz. Nju postizemo umnažanjem, počevši sa 52,833 MHz. Za tu je frekvenciju načinjen kristal Q. To je overtonski kvarcov kristal koji se na toj frekvenciji pobuđuje tranzistorom TR₁, zahvaljujući prisutnosti titrajnog kruga sa zavojnicom L_s (u emitorskom strujnom krugu). Taj titrajni krug treba da resonira na odabrani overtone kvara (52,833 MHz). U kolektorskom strujnom krugu istog tranzistora je



Sl. 10-47. Interdigitalni konvertor sa Schottky-jevima diodama, D_1 i D_2 ; s kvarcovim kristalom i umnažanjem frekvencije od 52,833 MHz na 1268 MHz; kao i sa »post-mikser« pojačalom na 28 MHz. $L_1 = L_2 = 18$ zav./0,5 mm, CuL, oko 1,5 μ H; $L_3 = 10$ zavoja, kao L_1 i L_2 , oko 0,5 μ H; $L_4 = L_5 = 6$ zavoja, kao L_1 , oko 0,2 μ H; sve na \varnothing od 6,3 mm, sa jezgricom. L_6 = bakrena traka $12,7 \times 63,5$ mm. VFP = 33 μ H

zavojnica L_4 . Ona, zajedno s kondenzatorom od 5 pF, resonira na tri puta višu frekvenciju (158,5 MHz), kao i zavojnica L_5 . Obje ove zavojnice sačinjavaju bandfilter za ulaznu frekvenciju tako da ona, filtrirana u bandfilteru, stiže u udvostručivački stupanj s tranzistorom TR_2 . Ovdje se postiže frekvencija od 317 MHz. Budući da su to već prilično visoke frekvencije, potrebno je odabrati pogodnije tranzistore. Kao TR_1 može se staviti 2N918 ili BFY 90, a kao TR_2 dolazi u obzir 2N3866. Navikli smo da taj tranzistor vidimo u predajnicima. Ovdje ga treba staviti da bi titiraj frekvencije 317 MHz bili dovoljno snažni, jer ih čeka daljnje umnažanje. Njih je još potrebno učeterostručiti na 1268 MHz. To se postiže diodom D_2 .

Izbor diode D_2 je kritičan. Mogu se upotrebiti samo one diode koje

imaju vrlo malen vlastiti kapacitet. Svaki znatniji kapacitet diode bio bi pravi »kratak spoj« za tako visoku frekvenciju! Ona mora imati i najbolja ispravljačka svojstva, tako da napon koji se može mjeriti na kondenzatoru C_2 dosegne —1,5 V, unatoč opterećenju sa 82 Ω . Ovim zahtjevima danas odgovaraju samo Schottky-jeve diode, pa konstruktor (W2CQH) preporučuje diode »Hewlett-Packard-5082-2577« ili »5082-2835« iste tvornice.

Dioda D_1 također mora biti sličnih kvaliteta. Ona služi za miješanje. Spojena je na kraj cijevi C u kojoj se induciraju VF naponi frekvencije 1268 MHz (od D) i frekvencije koju primamo, 1296 MHz (od B). Ove dvije frekvencije se u diodi miješaju; dakako, ukoliko je dioda za to sposobna! I ona mora imati vrlo malen vlastiti kapacitet i mora brzo slijediti sve promjene VF na-

pona. I dioda D_1 mora zato biti Schottky-dioda, npr. »Hewlett-Packard-5082-2811« ili »5082-2835«.

Kod ugađanja konvertora treba, kod M , uključiti miliampermetar. Kada su svi titrajni krugovi u oscilatorskom lancu, s tranzistorima TR_1 i TR_2 , kao i cijev D u interdigitalnom konvertoru, ugođeni optimalno, mora miliampermetar pokazivati struju oko 2 mA.

Cijev B interdigitalnog konvertora dovodi se u resonanciju s prijemnim frekvencijama tako da prijem nekog slabog signala bude maksimalno glasan uz najmanji šum.

Miješanjem (u diodi D_1) postiže se međufrekvencija. Budući da su signali na međufrekvenciji još vrlo slabi (nema VF pojačanja!) potrebno je tzv. »post-mikser pojačalo«. Ulogu tog međufrekventnog prepojačala vrši tranzistor TR_3 . Ovo pojačalo mora biti malošumno. Zato je najbolje da se upotrebi tranzistor koji će, uz malen šum, dati dosta veliko pojačanje. Ovim zahtjevima zadovoljava MOSFET, kao što je 40673, 3N200 ili 3N201. Zavojnica L_1 i kondenzator C_6 pripadaju ulaznom titrajnom krugu, dok zavojnica L_2 pripada izlaznom titrajnom krugu na međufrekvenciji u opsegu od 28 do 30 MHz. Taj izlazni titrajni krug mora biti širokopojasnih svojstava pa je prigušen otpornikom od 4,7 k Ω .



Sl. 10-48. Izgled interdigitalnog konvertora s pripadajućim stupnjevima, prema shemi na sl. 10-47

Podaci o radu takvog konvertora vrlo su ohrabrujući. Oni obećavaju ukupno pojačanje koje dostiže 20 dB u čitavom 2 MHz širokom prijemnom opsegu. Pri tome je potiskivanje zrcalnih frekvencija barem 18 dB, što govori o vrlo dobrim svojstvima interdigitalnih resonatora. Kažu, da šum — uz upotrebu navedenih poluvodičkih elemenata — nije veći od 5,5 dB. Obzirom na opseg frekvencije to je vrlo dobar rezultat. Izgled gotovog konvertora je na sl. 10-48.

Obzirom na to, da je za naše amatere jedini ozbiljniji problem nabavka šotki-dioda, uz poznatu snalažljivost, nadajmo se da će na skoro uslijediti osvajanje i ovih frekvencija.

KRATKOVALNI PREDAJNICI

VRSTE PREDAJNIKA

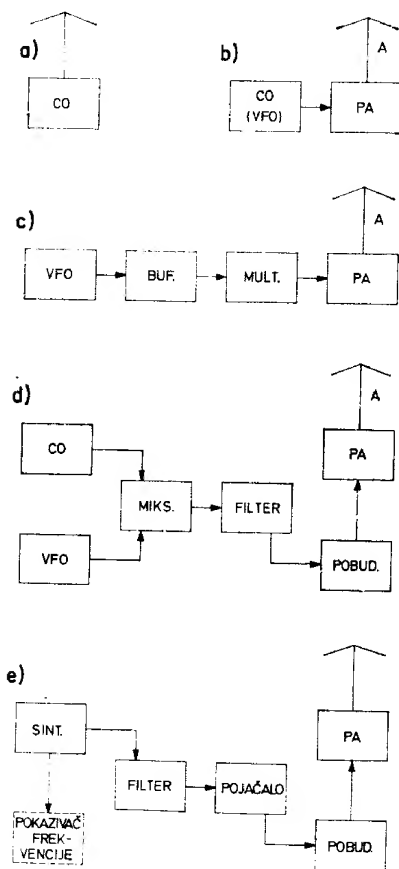
Predajnik (davač, odašiljač) služi za proizvodnju visokofrekventnih signala koji prenose poruke i služe za sporazumijevanje između radio-stanica. I u amaterskoj radio-stanici je predajnik, uz prijemnik, jedan od bitnih dijelova.

U radio-amaterskom predajniku upotrebljavaju se i tranzistori i elektronske cijevi u različitim stupnjevima. U oscilatorima, umnoživačima frekvencije, konverzionim stupnjevima i pojačalima snage mogu se redovito naći tranzistori. Elektronske cijevi se češće susreću u izlaznim pojačalima snage, osobito u tzv. linearnim snažnim pojačalima, ali mogu poslužiti i drugdje u predajniku.

Najjednostavniji predajnik za telegrafiju (CW) ima samo jedan stupanj. To je oscilator (sl. 11-1a) koji »proradi« svaki put kad pritisnemo ručicu telegrafskog tipkala (»tastera«). Proizvedene visokofrekventne titraje treba odvesti k anteni. Od nje odlaze elektromagnetski valovi u prostor. Pogonsku energiju za predajnik, dobije iz električne mreže preko posebnog ispravljača, iz akumulatorske baterije, iz galvan-skih baterija ili iz nekog pretvarača (vidi poglavlje o izvorima električne energije i poglavlje o prevoznim i prenosnim radio-uređajima).

Češće se upotrebljavaju predajnici koji, osim oscilatora, imaju i druge stupnjeve. Ako predajnik ima dva stupnja, oscilator je manje opterećen i može stabilnije raditi. Po-

trebnu energiju visokofrekventnim titrajima daje onda slijedeći stupanj, PA, sl. 11-1b. Internacionalno upotrebljavana kratica PA označu-



Sl. 11-1. Nekoliko blok-shema savremenih vrsta predajnika

je pojačalo snage (engl. »Power Amplifier«). Takvo se pojačalo redovito nalazi na kraju niza stupnjeva u svim savremenim predajnicima (sl. 11-1).

Oscilator s kvarcovim kristalom, *CO* (engl. »Crystal Oscillator«), može raditi samo na onoj frekvenciji koja je određena samim kristalom. Ima li predajnik oscilator s promjenljivom frekvencijom, tzv. *VFO* (engl. »Variable Frequency Oscillator«), opseg radnih frekvencija određen je konstrukcijom *VFO*-a i, redovito, obuhvaća samo jedno amatersko valno područje ili tek dio njega, npr., samo onaj dio koji je predviđen za rad telegrafijom, sl. 11-1b.

Veće mogućnosti rada osigurane su, ako u predajniku postoji mogućnost umnažanja frekvencije. Većina amaterskih valnih područja obuhvaća frekvencije koje su u jednostavnim međusobnim odnosima. Tako se udvostručivanjem frekvencije može, počevši sa 80-metarskim opsegom, postići frekvencije 40-metarskog, zatim 20-metarskog i, konačno, 10-metarskog opsega. Utrostručivanjem frekvencije od 7 MHz lako se postižu frekvencije 15-metarskog opsega. Na sl. 11-1c stupanj za umnožavanje frekvencije označen je slovima *MULT.* (engl. »Multiplier«). Između stupnja za umnožavanje frekvencije i oscilatora obično se stavlja još jedan stupanj za odjeljivanje, *BUFF.* (engl. »Buffer«; njem. »Puffer« = odbojnik, npr. na željezničkom vagonu!). Zadaća takvom stupnju je da se osigura malo i jednolično opterećenje oscilatora, te da se spriječi povratno djelovanje ostalih stupnjeva u predajniku na rad oscilatora.

Umnožavanje frekvencije primjenjuje se i onda, kad je potrebno da oscilator radi na što nižim frekvencijama. Lakše je, naime, načiniti stabilan oscilator, lakše ga je frekventno modulirati i sl. Umnožavanjem može se onda »doći« na određenu radnu frekvenciju predajnika. Ipak se tim putem ne može uvijek!

Za telegrafiju ili za frekventno modulirani signal nema poteškoće, ali se, npr., gotovi SSB-signali (engl. »Single Sideband« = jedan bočni pojas) ne smiju umnažati! Takvi signali postaju umnažanjem nerazumljivi.

Predajnici za sve vrste signala grade se najčešće prema principu koji je prikazan blok-shemom, sl. 11-1d. Stabilnim oscilatorom (*VFO*) može se obuhvatiti neki pogodno odabran opseg, npr., od ukupno 500 kHz (recimo: od 5 do 5,5 MHz, ili drukčije). Kristalni oscilator (*CO*) ima takvu frekvenciju da njenim miješanjem s frekvencijom *VFO*-a postizemo transpoziciju (premještanje) tih 500 kHz u bilo koji amaterski opseg. Ako kristalni oscilator ima više različitih kristala, miješanjem u stupnju *MIKS.* (engl. »Mixer« = onaj koji miješa) postizemo veći broj opsega. Dakako, miješanjem se dobiva mnogo produkata, i poželjnih i nepoželjnih. Iz te smjese treba najprije izdvojiti ono što nam je potrebno. Za tu svrhu služi poseban filter. U najjednostavnijem slučaju taj se filter sastoji od samo jednog titrajnog kruga, ukoliko neželjeni produkti miješanja nisu prejak. Ako ih je, međutim više jakih, koji bi mogli smetati, filter mora biti bolji. On mora osigurati da iz predajnika izađe samo ona frekvencija koju želimo emitirati!

U primjeru na sl. 11-1e je blok-shema predajnika u kojemu se radna frekvencija priprema tzv. *sintezom* (grč. »*synthesis*« = sastavljanje). Takvi predajnici imaju često i poseban, tzv. digitalni pokazivač frekvencije (lat. »*digitus*« = prst; u matematici: *brojka*; od nekadašnjeg računanja na prstima!). I sintezom pripremljena frekvencija mora se filtrirati, »očistiti« od nepoželjnih primjesa, zatim je treba pojačati (*POJAČALO* + *POBUD.*) da joj snaga bude dovoljno velika za pobuđivanje izlaznog stupnja (*PA*).

Pobudni stupanj (sl. 11-1d i sl. 11-1e) je već pojačalo koje bi moglo

poslužiti i kao izlazno u predajnicima male snage. Želimo li da nam predajnik daje snagu koja je maksimalno dopuštena za rad radio-amaterskih stanica (2 kW za operatore najviše klase!) u predajniku će biti potreban veći broj pobudnih stupnjeva, spojenih jedan iza drugoga.

Što je snaga predajnika veća, sve veća je opasnost da on emitira i neželjene frekvencije, kako ćemo kasnije još vidjeti. Zato je potrebno da se između izlaznog stupnja predajnika i antene *uvijek* uključi još neka vrsta *filtera*. Ovo nije nacrtano na sl. 11-1, ali se nikad ne smije zaboraviti.

Razmjerno najjednostavniji su predajnici za telegrafiju. Njih ćemo opisati u ovom poglavlju, kao i različite načine priključivanja telegrafskog tipkala (*»tastera«*; od njem. *»tasten«* = doticati, dirati) i drugog pribora.

Za radio-veze *telefonijom* potrebno je da se na neki način *»modulira«* emitirani visokofrekventni signal u skladu s niskim frekvencijama, sadržanim u ljudskom govoru (franc. *»la modulation«* = prilagođenje, mijenjanje na određen način; *»la mode«* = način; način oblačenja u *»modi«*; način mijenjanja VF signala prilagođen NF frekvencijama govora). Modulacija u radio-tehnici ima više vrsta. Kod amplitudne modulacije se u ritmu govora mijenja amplituda (i telegrafija je vrsta amplitudne modulacije!), kod frekventne modulacije mijenja se frekvencija i faza VF titraja, SSB signal je, zapravo, samo dio amplitudno moduliranog signala. O najvažnijim vrstama modulacije bit će govora u posebnim poglavljima. Tamo ćemo govoriti i o posebnim uvjetima kojima moraju zadovoljiti stupnjevi odgovarajućih predajnika.

OSCILATORI

Oscilatori u predajnicima se danas više *ne razlikuju* od oscilatora koji su potrebni za rad prijemnika.

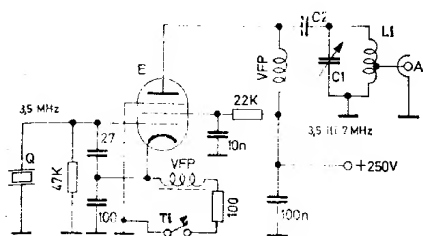
Nekada se tražilo da već sam oscilator daje neku, makar malu snagu, da čitav predajnik ima što manje stupnjeva. Bilo je to potrebno u doba kad su elektronske cijevi bile najskuplji sastavni dio radio-uređaja.

Danas je situacija sasvim drukčija! Danas više nitko ne nastoji da mu predajnik ima što manji broj stupnjeva, barem ne zbog cijene *»aktivnih«* elemenata. Cijev je danas u oscilatoru definitivno zamijenjena tranzistorima, a tranzistori su — barem oni male snage, kakvi dolaze u obzir za gradnju oscilatora — postali jeftini. Cijena im je često niža od cijene nekih drugih sastavnih dijelova! Tranzistorski oscilator, onaj za predajnik kao i onaj za prijemnik, treba da daje *čiste i što stabilnije oscilacije*, neovisno o promjenama pogonskog napona i o promjenama temperature okoline. Njegova snaga može biti vrlo male, tek nekoliko milivata. *Ostalim stupnjevima se povjerava i promjena frekvencije i pojačanje signala*. Pritom se nastoji da svi stupnjevi, *u kojima se formira i modulira signal*, sve zadatke obave *uz malenu snagu*, sa ciljem da se postigne *što kvalitetniji signal*.

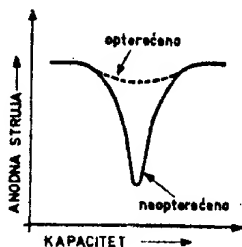
O oscilatorima je bilo govora u poglavlju 8 (Visokofrekventni oscilatori). Sve što je tamo rečeno vrijedi podjednako za sve uređaje u kojima se primjenjuju oscilatori, pa i za predajnike.

UMNOŽAVANJE FREKVENCIJE

U doba, kad su *»vladale«* elektronske cijevi, nastojalo se sagrađiti predajnik sa što manjim brojem cijevi. Zato su jednocijevni predajnici bili veoma rašireni, osobito među amaterima. Za sheme predajnika na sl. 11-2 i sl. 11-3 neki će reći da pobuđuju *»nostalgiju«* kod onih OM ili OT (engl. *»Old Man«* ili *»Old Timer«*) koji su nekada upotrebljavali ovako nešto *»demodirano«*. Možda je tako, ali i danas, u slučaju potrebe, moguće je na taj način



Sl. 11-2. Shema predajnika s pentodom. Frekvencija je određena kvarcovim kristalom Q



Sl. 11-3. Promjene jakosti anodne struje pri ugađanju izlaznog titrajnog kruga L_1C_1 u predajniku prema sl. 11-2

vrlo brzo i uspješno naciniti upotrebljiv predajnik sa elektronskom cijevi, izvađenom iz nekog starog radio-prijemnika.

Elektronska cijev E, sl. 11-2, je bilo kakva izlazna prijemna cijev. Posebno su se, u prošlosti, »proslavile« cijevi 6V6, 6L6 ili 6AG7, kao i EL3, EL11, EL81, EL83, EL84, EL86 i mnoge druge. Frekvenciju određuje kvarcov kristal Q. Oscilacije se pobuđuju zahvaljujući kapacitivnom razdjelniku ($27 + 100$ pF) između prve mrežice i »minusa«. Pri tome druga mrežica pentode djeluje kao kapacitivno (preko 10 nF) »uzemljena« anoda oscilatora. Oscilator radi i onda, ako anodni titrajni krug nije ugođen. Kada se uključi oscilator (preko tipkala Ti), dobro je da L_1C_1 bude ugođen. Inače bi cijev mogla biti preopterećena prejakom anodnom strujom. Ta je struja najmanja, kad je titrajni

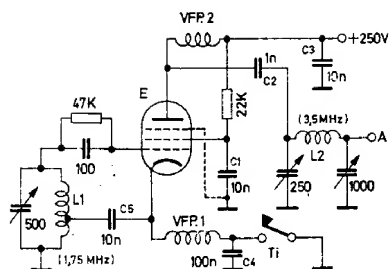
krug L_1C_1 ugođen na frekvenciju kvarca, vidi sl. 11-3.

Antena se priključuje kod A. Ona je spojena na odvojak zavojnice L_1 . Taj odvojak treba odabrati tako da se još opaža malen pad anodne struje, kada ugodimo titrajni krug, kako je to prikazano crticama za opterećeno stanje predajnika, sl. 11-3. Ipak s time se ne smije pretjerati. Treba paziti da frekvencija ostane stabilna, da preveliko opterećenje anodnog titrajnog kruga ne djeluje na titraje kvarca!

Električna struja koja teče preko anode *nije* sinusoidalna. Ona, dakle, sadrži osim osnovne frekvencije još i one *viših harmoničkih*. Na te više harmoničke frekvencije moguće je ugoditi titrajni krug L_1C_1 i tako jednu od njih »isfiltrirati« i poslati je u antenu. Ako je kvarc brušen za frekvenciju od $3,5$ MHz, možemo anodni titrajni krug ugoditi na dvostruku vrijednost, na 7 MHz. Kažemo da smo *frekvenciju udvostručili*. Snaga na toj dvostrukoj frekvenciji je manja nego na osnovnoj. Još će nam biti manja snaga ako L_1C_1 ugodimo na četiri puta više frekvenciju (14 MHz). To se obično ne radi, jer predajnik kod takvog učestverostručivanja frekvencije radi veoma neekonomično.

I *utrostručivanje* frekvencije je moguće. Ako je Q brušen za 7 MHz, možemo anodni titrajni krug ugoditi na frekvenciju od 21 MHz.

Dakako, primjenom kvarca u oscilatoru vezani smo na određenu frekvenciju. Više mogućnosti pruža primjena oscilatora kojemu se može mijenjati frekvencija (VFO). Na sl. 11-4 je shema predajnika s pentodom kojemu se frekvencija može mijenjati. I ta shema bi se mogla proglasiti »nostalgicom«, ali — u izuzetnim prilikama — i ona omogućuje izgradnju upotrebljivog predajnika, *i danas!* Oscilatorski dio je načinjen sa katodnom povratnom vezom. Pritom titrajni krug sa zavojnicom L_1 ima *velik kapacitet*. Promjenljivi kondenzator (500 pF, maks.) mora biti *skoro sasvim za-*



Sl. 11-4. Predajnik s pentodom. Frekvencija se može mijenjati. Oscilator (sa zavojnicom L_1) je sa izlaznim dijelom u vezi preko struje elektrona koja teče kroz cijev (ECO)

tvoren kada oscilator proizvodi frekvenciju od 1,75 MHz. To je polovica one vrijednosti koju mora imati signal za održavanje telegrafskih radio-veza u 80-metarskom amaterskom opsegu.

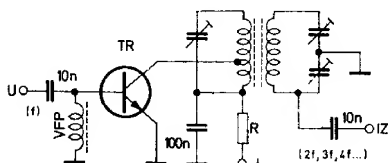
U anodnom strujnom krugu je prigušnica VFP.2, a od anode, preko kondenzatora od 1 nF (mora izdržati napon od 1000 V, ako je anodni napon 250 V!!) spojen je tzv. Collins-filter (čit. »kolins«) sa zavojnicom L_2 i s dva promjenljiva kondenzatora. Veći od njih (1000 pF, maks.) određuje vezu sa antenom, dok se manjim (do 250 pF) filter dovodi u resonanciju na dvostrukoj frekvenciji oscilatora. Imamo opet udvostručenje frekvencije. Collins-filter u anodnom strujnom krugu nema nikakve druge veze s oscilatorom osim struje elektrona koja teče kroz samu cijev. Zato se takav spoj naziva ECO-spojem (engl. »Electron Coupled Oscillator«).

Ako bi izlazna frekvencija predajnika ove vrste bila jednaka oscilatorskoj frekvenciji, a treća mrežica pentode spojena s katodom (kao kod EL84 ili EL86), može doći do nestabilnosti. Zato je povoljnije raditi sa udvostručenjem frekvencije, kao na sl. 11-4. Stabilnost emitiranih signala je znatno bolja.

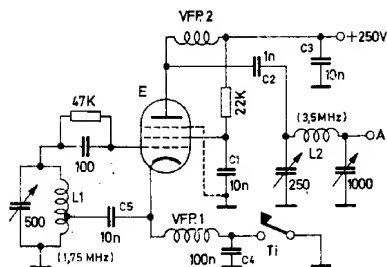
Donekle slično umnažanje frekvencije s tranzistorima je također moguće, sl. 11-5. Na ulaz U ovog

tranzistorskog stupnja, iz nekog oscilatora, dovode se VF titraji frekvencije f . Kolektorski strujni krug je spojen s bandfilterom kojemu su oba titrajna kruga ugođena na dvostruku ili trostruku, rjeđe na četverostruku frekvenciju. Tranzistor na svojoj bazi nema prednapona. Visokofrekventni ulazni napon mora imati amplitudu veću od 0,7 V da bi se tranzistor »otvorio«, tj. da bi mogla poteći kolektorska struja. Tranzistor, dakle, radi kao pojačalo klase C. Uz dovoljno veliku pobudu (dovoljno velik ulazni VF napon!), izlazna snaga koja se može postići takvim umnoživačem iznosi oko 50% kod udvostručavanja, oko 33% kod utrostručavanja i oko 25% kod učetverostručavanja frekvencije, ako izlaznu snagu uporedimo sa onom koju bi se moglo dobiti na frekvenciji f .

Znatno više izlazne snage postižu se tzv. »PP dublerom« (od engl. naziva: »Push-Push-Doubler«), sl. 11-6. Dva tranzistora tipa FET spojeni su na ulazni titrajni krug. Sa zavojnicom L_2 i serijski spojenim kondenzatorima C_1 i C_2 ovaj titrajni krug resonira na frekvenciji f . Gejt-elektrode tranzistora TR_1 i tranzistora TR_2 uvijek su pobuđene suprotnim fazama VF napona. Zato se TR_1 i TR_2 naizmjenično otvaraju i zatvaraju. Kada poteče struja kroz FET TR_1 , ne može teći kroz TR_2 i obrnuto. Budući da je titrajni krug L_2C_3 spojen tako da kroz njega teče i struja sa drejn-elektrode TR_1 i sa drejn-elektrode TR_2 , taj će titrajni krug za vrijeme svakog titraja (frekvencije f) dobiti po dva strujna im-



Sl. 11-5. Jednostavan tranzistorski stupanj za umnažanje frekvencije. Vidi tekst



Sl. 11-4. Predajnik s pentodom. Frekvencija se može mijenjati. Oscilator (sa zavojnicom L_1) je sa izlaznim dijelom u vezi preko struje elektrona koja teče kroz cijev (ECO)

tvoren kada oscilator proizvodi frekvenciju od 1,75 MHz. To je polovica one vrijednosti koju mora imati signal za održavanje telegrafskih radio-veza u 80-metarskom amaterskom opsegu.

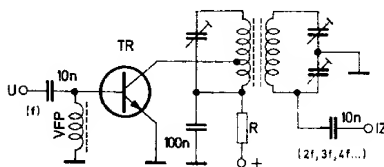
U anodnom strujnom krugu je prigušnica VFP.2, a od anode, preko kondenzatora od 1 nF (mora izdržati napon od 1000 V, ako je anodni napon 250 V!!) spojen je tzv. Collins-filter (čit. »kolins«) sa zavojnicom L_2 i s dva promjenljiva kondenzatora. Veći od njih (1000 pF, maks.) određuje vezu sa antenom, dok se manjim (do 250 pF) filter dovodi u resonanciju na dvostrukoj frekvenciji oscilatora. Imamo opet udvostručenje frekvencije. Collins-filter u anodnom strujnom krugu nema nikakve druge veze s oscilatorom osim struje elektrona koja teče kroz samu cijev. Zato se takav spoj naziva ECO-spojem (engl. »Electron Coupled Oscillator«).

Ako bi izlazna frekvencija predajnika ove vrste bila jednaka oscilatorskoj frekvenciji, a treća mrežica pentode spojena s katodom (kao kod EL84 ili EL86), može doći do nestabilnosti. Zato je povoljnije raditi sa udvostručenjem frekvencije, kao na sl. 11-4. Stabilnost emitiranih signala je znatno bolja.

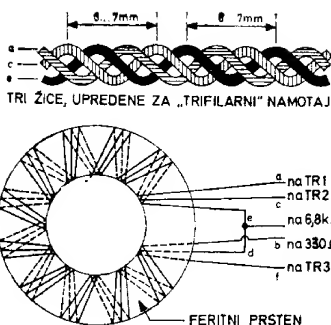
Donekle slično umnažanje frekvencije s tranzistorima je također moguće, sl. 11-5. Na ulaz U ovog

tranzistorskog stupnja, iz nekog oscilatora, dovode se VF titraji frekvencije f . Kolektorski strujni krug je spojen s bandfilterom kojemu su oba titrajna kruga ugođena na dvostruku ili trostruku, rjeđe na četverostruku frekvenciju. Tranzistor na svojoj bazi nema prednapona. Visokofrekventni ulazni napon mora imati amplitudu veću od 0,7 V da bi se tranzistor »otvorio«, tj. da bi mogla poteći kolektorska struja. Tranzistor, dakle, radi kao pojačalo klase C. Uz dovoljno veliku pobudu (dovoljno velik ulazni VF napon!), izlazna snaga koja se može postići takvim umnoživačem iznosi oko 50% kod udvostručavanja, oko 33% kod utrostručavanja i oko 25% kod učetverostručavanja frekvencije, ako izlaznu snagu uporedimo sa onom koju bi se moglo dobiti na frekvenciji f .

Znatno više izlazne snage postižu se tzv. »PP dublerom« (od engl. naziva: »Push-Push-Doubler«), sl. 11-6. Dva tranzistora tipa FET spojeni su na ulazni titrajni krug. Sa zavojnicom L_2 i serijski spojenim kondenzatorima C_1 i C_2 ovaj titrajni krug resonira na frekvenciji f . Gejt-elektrode tranzistora TR_1 i tranzistora TR_2 uvijek su pobuđene suprotnim fazama VF napona. Zato se TR_1 i TR_2 naizmjenično otvaraju i zatvaraju. Kada poteče struja kroz FET TR_1 , ne može teći kroz TR_2 i obrnuto. Budući da je titrajni krug L_2C_2 spojen tako da kroz njega teče i struja sa drejn-elektrode TR_1 i sa drejn-elektrode TR_2 , taj će titrajni krug za vrijeme svakog titraja (frekvencije f) dobiti po dva strujna im-



Sl. 11-5. Jednostavan tranzistorski stupanj za umnažanje frekvencije. Vidi tekst

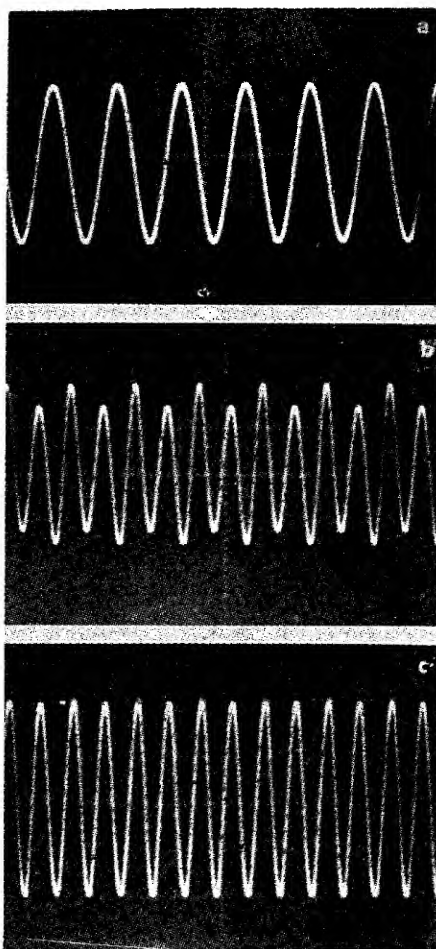


Sl. 11-8. Priprema i namatanje »trifilarnog« spleta zavojnica za udvostručenje frekvencije. Opis u tekstu

na sl. 11-8, krajevi *a*, *c* i *e* su počeci, dok su krajevi *b*, *d* i *f* završeci. Međusobno i sa ostalim dijelovima udvostručivača treba ih spojiti kako je označeno.

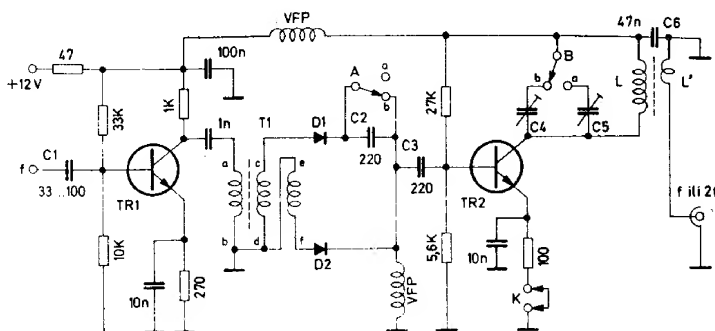
Potrebno je da tranzistori TR_2 i TR_3 budu istog tipa i da im strujna pojačanja (β) budu podjednaka. Manje nesimetrije u pojačanju mogu se izjednačiti potencijometrom (500 Ω), spojenim između emitera.

Sl. 11-9 pokazuje kako se može izgledom oscilograma provjeriti da li udvostručivač frekvencije pravilno radi. Oscilogram na sl. 11-9a pripada frekvenciji *f*, onoj koju smo doveli na ulaz udvostručivača (sl. 11-7). Sljedeći oscilogram (sl. 11-9b) pokazuje da tranzistori TR_2 i TR_3 imaju različita pojačanja. Udvostručenje frekvencije je nesimetrično i na izlazu je, uz dvostruku frekvenciju ($2f$), prisutna i osnovna (*f*). Kada se pojačanja izjednače potencijometrom u emitorskim strujnim krugovima tih tranzistora, posvema je potisnuta osnovna frekvencija. Na izlazu preostaje samo frekvencija $2f$ (sl. 11-9c). Ako nemamo oscilografa (što je za mnoge amatere normalno stanje, HI) možemo se pomoći osjetljivim apsorpcijskim valomjerom ili odgovarajućim dipmetrom. Zavojnicu valomjera pri-



Sl. 11-9. Kontrolni oscilogrami rada uređaja za udvostručenje frekvencije: a) oscilogram titraja frekvencije *f*; b) nejednake amplitude su posljedica različitog pojačanja upotrebljenih tranzistora; c) udvostručena frekvencija ($2f$), kada su pojačanja tranzistora izjednačena. Vidi tekst

bližimo zavojnici L_4 udvostručivača frekvencije. Ako nema simetrije, moći ćemo resonancijom titrajnog kruga valomjera utvrditi prisutnost osnovne frekvencije. Kad je simetrija (potencijometrom!) postignuta,



Sl. 11-10. Udvostručavanje frekvencije diodama. Dvostrukim preklapnikom se može birati frekvencija f ili $2f$. Vidi tekst

frekvenciju f na izlazu udvostručivača više ne možemo utvrditi!

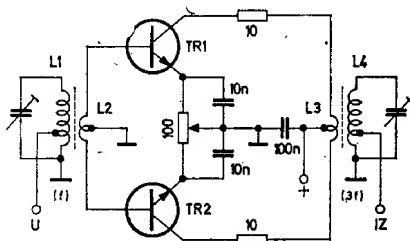
I diode mogu poslužiti za udvostručenje frekvencije, prema sl. 11-10. Transformator T_1 je širokopojasni i treba ga namotati trifilarno, kao u predašnjem primjeru. Slovi a, b, c, d, e i f opet su označeni krajevi žica. Dioda D_1 i D_2 neka budu barem u propusnom smjeru *podjednakih svojstava*. One mogu biti ili germanijeve ili silicijeve. Glavno je da su im kapaciteti maleni. Transistor TR_2 ne sudjeluje kod udvostručavanja frekvencije. Njegova je zadaća da pojača VF struje koje već imaju dvostruku frekvenciju, zahvaljujući diodama. Dioda ovdje djeluje kao *dvosmjerni ispravljač* kod kojega se frekvencija *uvijek udvostručuje*.

Udvostručenje frekvencije se može i spriječiti! Treba samo dvostruki preklapnik $A-B$ prebaciti iz položaja b u položaj a . U tom slučaju je jedna od dioda (D_1) isključena iz funkcije. Udvostručavanja frekvencije više nema. Na izlazu možemo tako *odabrati ili frekvenciju f ili dvostruko višu frekvenciju $2f$* .

U kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_2 je zavojnica L koja se može dovesti u rezonanciju s frekvencijom f ili s frekvencijom $2f$. Tome služe trimerski kondenzatori C_4 i C_5 . Preklapnikom B izabire se jedan od njih, prema želji. Zavoj-

nica L' je sa L u induktivnoj vezi. Ona služi da se oscilacije jedne ili druge frekvencije odvedu na izlaznu priključnicu.

Utrostručiti frekvenciju je također ponekad potrebno. Za utrostručivanje frekvencije može poslužiti *protufazni spoj* dvaju tranzistora, sl. 11-11. Takav je spoj poznat i pod imenom »puš-pul« (od engl. »push« = guraj; »pull« = vuci. Tranzistori rade naizmjenice, pa se čini kao da jedan gura a drugi vuče i obratno). Baze tranzistora TR_1 i TR_2 su u protufazi. To znači da je faza visokofrekventnih titraja na njima suprotna. Dok je jedna baza pozitivna i, u slijedećoj poluperiodi, obratno. Preko L_3 se



Sl. 11-11. Tranzistorsko pojačalo kojemu su i baze i kolektori u protufaznom spoju (»push-pull«) omogućuje utrostručivanje frekvencije. Ono može pojačati osnovnu i sve neparne više harmoničke frekvencije

takvi protufazni strujni impulsi, od jednog i drugog kolektora privode izlaznom titrajnom krugu (sa L_4). Ovaj može resonirati na bilo koju *neparnu* harmoničku frekvenciju: na prvu (f), na treću ($3f$), na petu ($5f$) i tako redom. Najčešće se zadovoljavamo umnažanjem frekvencije na $3f$. Uz dovoljnu pobudu, oscilacije frekvencije $3f$ imaju još upotrebljivu amplitudu. Više neparne frekvencije ($5f$, $7f$...) obično su mnogo slabije.

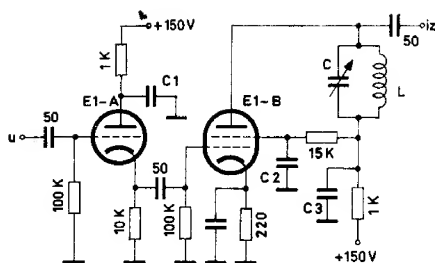
Potenciometar, spojen između emitera tranzistora TR_1 i TR_2 , potreban je za postizavanje simetričnog, tj. jednakog pojačanja u oba tranzistora.

PRETPOJAČALA I POBUDNI STUPNJEVI U PREDAJNIKU

Pretpojačala i pobudni stupnjevi u predajniku imaju zadatak da visokofrekventnim oscilacijama (koje smo postigli oscilatorom, u stupnjevima za umnažanje ili za miješanje) toliko pojačamo snagu da bude dovoljna za pobudu izlaznog stupnja predajnika.

U principu nema razlike u načinu na koji će elektronska cijev ili tranzistor pojačavati niske ili visoke frekvencije. Zato osnovni sklopovi cijevnih (sl. 3-9) i tranzistorskih pojačala (sl. 4-27 i sl. 4-28) u principu vrijede i za pojačala visokih frekvencija u predajnicima. I predstupnjevi i pobudna pojačala predajnika mogu raditi u bilo kojoj klasi (sl. 3-12 do sl. 3-15). Prema nivou snage i ovisno o drugim uvjetima rada, u principu, svaki od tih stupnjeva može raditi u klasi A, u klasi B, kao i u klasi AB ili u klasi C.

Shema visokofrekventnog pretpojačala, sl. 11-12, predviđa upotrebu dvostruke elektronske cijevi ECL 82, ili neke druge triode i posebne pentode. Trioda je katodno slijedilo pa je prethodni stupanj (oscilator!) veoma malo opterećen. U anodnom strujnom krugu pento-



Sl. 11-12. Visokofrekventno pretpojačalo koje se može staviti između VFO-a sa slabim izlaznim signalom i ulaza u predajnik. Shema vrijedi za dvije odijeljene cijevi ili za jednu dvostruku (ECL 82)

de je titrajni krug koji resonira na odabranu frekvenciju. Pritom oba dvije elektronske cijevi rade u klasi A. Ova klasa omogućuje rad sa *najmanje* izobličenja. Zato je izlazni visokofrekventni, pojačani signal osobito »čist«. On predstavlja pojačanu, ali vrlo vjernu »kopiju« ulaznog signala.

Hoće li neki stupanj u predajniku raditi u ovoj ili onoj klasi ovisi o izboru tzv. radne tačke, odnosno radnih uvjeta.

Ovo podjednako vrijedi za elektronske cijevi i za tranzistore. Razlika je jedino u načinu na koji se postizava određena radna tačka. Taj način je bitno različit.

Izbor radnih uvjeta za pojačala snage u predajniku

Elektronske cijevi su se do danas zadržale u predajnicima, osobito u stupnjevima za pojačanje snage. Ako elektronsku cijev i tranzistor uporedimo, onda — što se tiče primjene u predajniku — svako od njih ima svoje prednosti i svoje mane.

Prednost elektronskih cijevi pred tranzistorima nije samo u tome da je cijena elektronske cijevi za postizavanje razmjerno veće snage još uvijek niža od cijene tranzistora.

Elektronska cijev podnosi najraznoličnija preterećenja znatno bolje od tranzistora. Tranzistorski stupanj je mnogo osjetljiviji i traži preciznije prilagođenje na »potrošač« (slijedeći stupanj ili antenski sistem!). Njemu može prejako opterećenje strujom ili prevelikim naponom u trenutku biti »katastrofalno«. Jedna jedina naponska »špica« može ga uništiti prije nego se snađemo. Tranzistori su osjetljivi i na pregrijavanje, dok kod elektronske cijevi može i veće opterećenje (užarena anoda!), ako ne traje predugo, ostati bez posljedica.

S druge strane tranzistori imaju i velikih prednosti. Dok se pogonski napon elektronskih cijevi mjeri stotinama i — kod vrlo velikih snaga — hiljadama volta, tranzistorski stupnjevi u predajniku trebaju za svoj rad obično 12 V, rijetko do 24 ili 28 V. Ovo je presudno, osobito za mobilnu i »portabl« primjenu. Uz pravilnu pobudu tranzistori, ipak, proizvode *znatno više* neželjenih produkata (viših harmoničnih frekvencija) nego elektronske cijevi. Ovo se može izbjeći boljim prilagođenjem i opsežnijim filterima. Važan je, u svakom slučaju, i pravilan izbor radnih uvjeta.

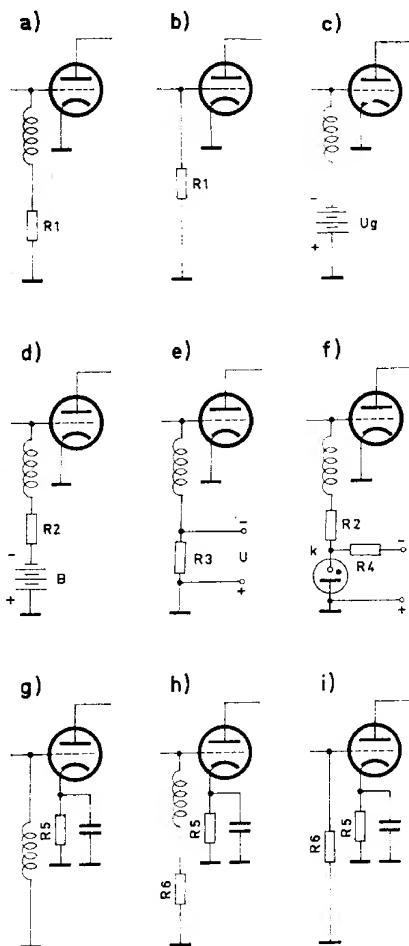
Najveći utjecaj na radne uvjete elektronske cijevi u predajniku ima prednapon prve mrežice (uz pravilno odabrane ili zadane ostale pogonske napone).

Prednapon prve mrežice svake cijevi, kako znamo, određuje, uz ostalo, radnu tačku pojačala. Nekoliko načina za dobivanje prednapona vidimo na sl. 11-13.

U primjeru a) i b) se prednapon postizava padom napona koji nastaje tako da struja prve mrežice teče kroz otpornik R_1 . Ova struja nastaje ispravljanjem visokofrekventne struje koja se dovodi pojačalu. Postignuti prednapon je jednak umnošku veličine otpora R_1 i jakosti struje mrežice J_g :

$$U_g = R_1 \times J_g$$

Ako je otpor izražen u kilo-ohma a jakost struje u miliamperima,



Sl. 11-13. Pregled najvažnijih načina za postizavanje zaštitnog i radnog prednapona elektronskih cijevi u predajniku

izlazi prednapon u voltima. Nikakvog prednapona nema, ako nema visokofrekventne pobude, pa o tome treba voditi računa. Ako nestane pobuda može naime jakost anodne struje porasti do nedopustivo velikih iznosa.

U primjeru c) je prednapon određen posebnim izvorom kojemu je napon jednak U_g . Visina prednapona je neovisna o tome da li ima ili

nema pobudnog visokofrekventnog napona na mrežici.

Obje su metode kombinirane u primjeru d). Dok nema pobude postoji samo prednapon iz izvora *B*. To je *zaštitni* prednapon koji prijeći da anodna struja pretjerano naraste. Uz pobudu poteče struja prve mrežice pa se na *R_s* formira pad napona koji se dodaje naponu iz *B* povećavajući prednapon. Ovo je onda *radni* prednapon.

Ako izvor prednapona ima velik vlastiti unutrašnji otpor možemo ga opteretiti nekim otpornikom *R_s* (primjer e) tako da na tom otporniku nastaje i zaštitni i radni prednapon.

Zaštitni prednapon osobite stabilnosti može se postići primjenom stabilizatorske tinjalice, kako je prikazano u primjeru f). Radni prednapon je veći od zaštitnog jer se naponu na stabilizatoru dodaje pad napona na *R_s*.

U predajnicima manje snage, u kojima služe indirektno grijane cijevi, može se prednapon dobiti pomoću katodnog otpornika *R_s*, kao i u prijemnicima. I katodni otpornik osigurava onaj minimalni, zaštitni prednapon sprečavajući prekomjerni porast anodne struje. To je prikazano na sl. 11-13g. h, i. U posljednja dva primjera je radni predna-

pon cijevi viši zahvaljujući padu napona na odvodnom otporniku mrežice, *R_s*. O veličini toga otpornika će ovisiti da li treba u seriju s njime staviti visokofrekventnu prigušnicu ili ne. Razumije se da katodni otpornik u predajniku treba premestiti kondenzatorom kao i u prijemnicima. Ovaj kondenzator ima ovdje oko 10 nF kapaciteta.

Kod *direktno grijanih* cijevi treba žarnu nit, koja ujedno služi kao katoda, priključiti na način koji vidimo na sl. 11-14. U predajnicima se i takve cijevi griju izmjeničnom strujom. To se postiže pomoću posebnog transformatora koji na svojoj sekundarnoj strani ima srednji odvojak. Ovaj odvojak služi umjesto katodnog priključka kod ostalih cijevi. Kondenzatori *C₁* služe za visokofrekventno uzemljenje direktno grijane katode.

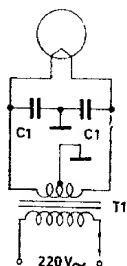
U manjim predajnicima pentode češće služe od trioda. Za pogon pentode potreban je pozitivan napon na njenoj drugoj (zaštitnoj) mrežici. Taj se napon može crpsti iz posebnog ispravljača, ali najčešće ga postizavamo iz anodnog izvora pomoću pada napona na posebnom, serijskom otporniku. Ako znamo koliki je napon *V_a* anodnog izvora struje i koliki treba da je napon *V_{g2}* na zaštitnoj mrežici, lako izračunamo potreban pad napona:

$$V = V_a - V_{g2}.$$

Veličinu serijskog otpornika onda izračunamo prema izrazu:

$$R_{g2} = \frac{V}{J_{g2}}.$$

Vidimo da nam mora biti poznata i jakost struje druge mrežice, *J_{g2}*. Ova se jakost struje mijenja s pogonskim uvjetima pa je treba izmjeriti kod pune pobude i normalnog radnog opterećenja cijevi. Valjanost proračuna treba provjeriti mjerenjem napona na zaštitnoj mrežici za vrijeme normalnog rada predajnika i provesti eventualno potrebne popravke. Ako je napon na zaštitnoj mrežici prevelik treba



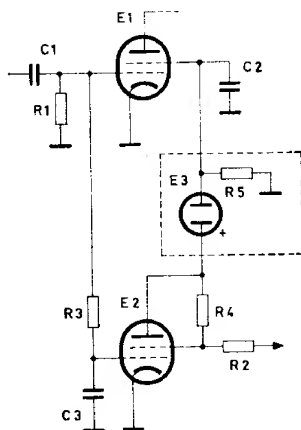
Sl. 11-14. Odvojak u sredini sekundarne zavojnice transformatora, koji daje struju grijanja za predajnu cijev sa direktnim žarenjem katode, služi umjesto priključka katode kod ostalih vrsta cijevi. $C_1 = C_2 = \text{oko } 10 \text{ nF}$

R_2 povećati ili, u obrnutom slučaju, smanjiti.

Primjena serijskog otpornika u strujnom krugu druge mrežice ima i svoje loše strane. Što je vrijednost otpora R_2 veća to je veći prednapon potreban za potpun prekid struje kroz cijev. Ranije spomenuti zaštitni prednapon lako postaje nedovoljan za zaštitu izlazne cijevi kroz koju može, ako nema ili ako nestane pobude, poteći prejak struja. Zaštitnu mrežicu je vrlo lako preteriti. Zato je dobro da u takvom slučaju dodamo posebnu cijev koja će spriječiti previsok porast napona na drugoj mrežici izlazne cijevi.

Takva zaštitna cijev je E_2 na sl. 11-15. Dok cijev snažnog izlaznog stupnja u predajniku E_1 dobiva pobudu, na otporniku R_1 nastaje visok radni prednapon. On se preko R_2 dovodi i na cijev E_2 , uslijed čega je kroz nju spriječen prolaz anodne struje. Zaštitna mrežica predajne cijevi E_1 dobije svoj pozitivni napon preko otpornika R_2 . Otpornik R_1 je zanemarljiv (100 Ω) prema veličini R_2 .

Zamislamo najprije da stabilizatorske cijevi E_3 i otpornika R_3 ne-



Sl. 11-15. Elektronska cijev E_2 zaštićuje od preterćenja tetrodu ili pentodu E_1 u predajniku. Vidi objašnjenje u tekstu

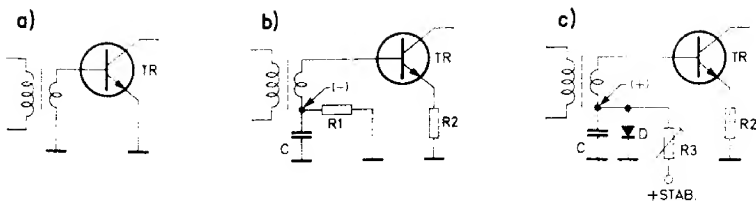
ma, i da je anoda cijevi E_2 direktno spojena s drugom mrežicom cijevi E_1 . Ako iz bilo kojeg razloga nestane pobude, nestat će i prednapon na prvim mrežicama ovih cijevi. E_2 odmah »povuče« tako jaku anodnu struju da napon na njezinoj anodi i, istovremeno, napon na zaštitnoj mrežici cijevi E_1 padnu, smanjujući ujedno i jakost anodne struje izlaznog stupnja predajnika.

Ako želimo da se dovod struje zaštitnoj mrežici cijevi E_1 potpuno prekine, možemo dodati stabilizatorsku tinjalicu E_3 i otpornik R_3 (ogradoeno crticama). Kad nestane pobude na prvoj mrežici predajne cijevi E_1 , zaštitna cijev propusti anodnu struju. Njezin anodni napon tako jako padne da se tinjalica E_3 ugasi! Za tu svrhu može dobro poslužiti stabilizatorska cijev OA2. Otpornik R_3 koji osigurava ponovno paljenje ove cijevi ima oko 100 k Ω .

Kod tranzistora su okolnosti drukčije! Ako elektronska cijev nema prednapona, *teče* jaka anodna struja. Ako na bazi tranzistora nema pomoćnog napona, onda kolektorska struja *ne može teći*. Dakle, nema potrebe za posebnim mjerama, u smislu opisanog zaštitnog prednapona.

Na sl. 11-16a baza tranzistora je na potencijalu »nula«, kao i emiter. Kolektorska struja može »oteći« tek onda, kad visokofrekventni napon bude veći od 0,6 do 0,7 V, koliko je potrebno da se tranzistor »otvori«. To je dovoljno da se tranzistor ponaša kao pojačalo u klasi C.

U strujnom krugu preko baze i emitera visokofrekventne struje se ispravljaju, kao u diodi. Ovu ispravljenu struju možemo iskoristiti za daljnje pomicanje radne tačke i postizanje još izrazitijeg rada u C-kласi, sl. 16b. Treba samo tu ispravljenu struju propustiti kroz otpornik R_1 . Što je struja jača, bit će prednapon negativniji. Razumije se da u tome slučaju treba primijeniti jaču pobudu. Da se otpornikom R_1 ne bi smanjivala pobuda, treba dodati i kondenzator C kroz koji VF struje



Sl. 11-16. Kod tranzistora je postizanje pravilne radne tačke jednostavnije: a) za rad u klasi C ne treba nikakav pomoćni prednapon; b) otpornik R_1 i kondenzator C mogu proizvesti veći negativan prednapon za vrijeme rada predajnika. Emitterski otpornik R_2 smanjuje pojačanje ali čuva tranzistor od preterećenja; c) za rad u klasi B, AB ili A potrebno je na tranzistorovu bazu dovesti pozitivan prednapon. Sve vrijedi za tranzistore tipa N-P-N. Za P-N-P tranzistore polariteti imaju suprotan predznak

nesmetano prolaze, mimo otpornika. Sličan učinak bi imao i emitterski otpornik R_2 . Pad napona na njemu također bi dao odgovarajući prednapon. Ipak se to radije izbjegava, da se na taj način ne bi smanjio napon između emitera i kolektora, što je posebno važno ako je već i sam pogonski napon razmjerno malen.

Želimo li da nam tranzistor radi u nekoj drugoj klasi, potrebno je da mu damo otvarajući (pozitivan, ako je NPN) prednapon, sl. 16c. Ukoliko je tranzistor TR silicijski, što je danas normalno, potrebno je da i dioda D bude silicijska. Na silicijskim diodama je pad napona, dok kroz njih teče električna struja, od 0,6 do blizu 1 V. Jakost struje možemo regulirati promjenljivim otpornikom R_3 i tako na bazu tranzistora dovesti veći ili manji prednapon. Ako ovaj iznosi oko 0,6 V kolektorska struja tranzistora još ne teče, ali će već maleni VF naponi moći utjecati na nju otvarajući tranzistor svake povoljne poluperiode. Tranzistor tada radi u klasi B.

Za rad tranzistora u klasi A bit će potrebno da se struja kroz D pojača i da se tranzistor jače otvori. Kolektorska struja tranzistora TR mora porasti do polovice one vrijednosti koja je kao maksimalna predviđena za određeni tip. Visokofrekventni signal će, doveden na bazu, mijenjati kolektorsku struju ta-

ko da ona tokom jedne poluperiode postaje jača a tokom druge poluperiode slabija od one mirne struje koju smo uspostavili promjenom vrijednosti otpornika R_3 . Treba odmah reći da je pri radu u klasi A toplinsko opterećenje (zagrijavanje!) tranzistora najveće i treba paziti da se ne upropasti. Postoji opasnost tzv. »termičkog samouništenja«. Vrućem tranzistoru pojača se kolektorska struja. Ova izaziva još jače zagrijavanje i tako se to nastavlja dok kolektorska struja pretjerano naraste. Nažalost, ovaj rast struje obično je tako brz da se govori o tome kako »tranzistor pobjegne«. Rijetko uspije pravovremeno prekinuti struju da ne dođe do propasti. Jači se tranzistori (ni u NF ni u VF pojačalima!) gotovo ne upotrebljavaju u A-klassi. (Izuzetak su samo VMOS-FET-i, vidi str. 77).

Za rad u AB-klassi treba otpornikom R_3 postići da se tranzistor samo malo otvori, toliko da nema opasnosti od pregrijavanja. Dakako, treba paziti i na to da izobličenja, koja se očituju kao prisutnost »produkata nelinearnosti«, ostanu u dopustivim granicama.

Veza između pojedinih stupnjeva

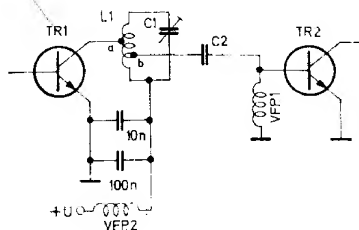
Veza između pojedinih stupnjeva za VF pojačanje snage signala u predajniku može biti ostvarena na različite načine.

Ako se u kolektorskom strujnom krugu tranzistora TR_1 , sl. 11-17, nalazi titrajni krug, mora se kolektor priključiti na odvojak, kod a , da titrajni krug ne bi bio suviše prigušen. Veza sa tranzistorom TR_2 , u slijedećem stupnju je kapacitivna, preko C_2 . Visokofrekventna prigušnica VFP_1 samo zatvara strujni krug baze koja ostaje bez stalnog prednapona. Zato će TR_2 raditi u klasi C . I kondenzator C_2 mora biti priključen na odvojak zavojnice, kod b . Postoji optimalan položaj tog odvojka. Pritom je odvojak b niže, tj. bliže »hladnom« kraju titrajnog kruga nego li odvojak a . To je zato jer je ulazna impedancija baze tranzistora TR_2 redovito manja od izlazne, kolektorske impedancije tranzistora TR_1 .

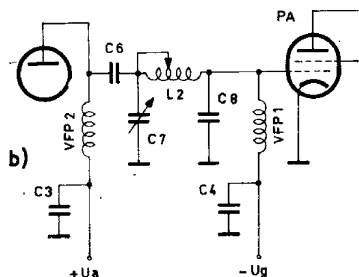
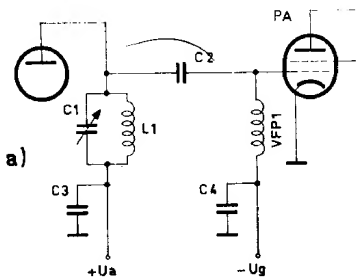
Kapacitivna veza između dvije elektronske cijevi ostvaruje se jednostavnije, sl. 11-18a. Shema na toj slici potpuno je analogna predašnjoj. Odvojaka na zavojnici ne treba. Impedancija u anodnom strujnom krugu jedne, kao i ulazna impedancija prve mrežice druge cijevi dovoljno su visoke. One nisu međusobno jednake, ali kod stupnjeva gdje je VF snaga još malena ne treba zbog toga očekivati zamjetljive gubitke.

U interesu što boljeg prilagođenja titrajni krug L_1C_1 ne smije imati previsok Q -faktor, osobito ako druga cijev, označena kao PA , treba jaču pobudu. U tome slučaju treba pronaći najpovoljniji odnos L_1/C_1 kao i najbolju vrijednost za C_2 . Drugi mogući način prilagođenja bio bi priključivanje kondenzatora C_2 na odvojak zavojnice L_1 , ali to najčešće ne bi bilo dobro. Moglo bi lako doći do parazitskih oscilacija kao i do pojačanja viših harmoničkih frekvencija.

Za pobuđivanje većih izlaznih stupnjeva, koji imaju razmjerno nisku ulaznu impedanciju zbog jače struje prve mrežice, bolja je veza s pobudnim stupnjem preko Pi -filtera (sl. 11-18b).



Sl. 11-17. Veza između dva stupnja u tranzistorskom predajniku ostvarena je kondenzatorom C_2 . Vidi tekst



Sl. 11-18. Veza između dva stupnja u predajniku sa elektronskim cijevima: a) kapacitivna veza; b) veza pomoću Pi -filtera

Pi -filter ima zavojnicu L_2 koja zajedno s kondenzatorima C_7 i C_8 čini titrajni krug za pobudnu frekvenciju. Međusobni odnos ovih dvaju kapaciteta regulira stupanj pobude i međusobno prilagođenje. Osim toga je C_8 izravan kapacitivni »kratak spoj« za sve neželjene više frekvencije. U tu svrhu mora C_8 biti

što kvalitetniji kondenzator, bez vlastitog induktiviteta, i mora biti zašlemljen direktno na samom podnožju cijevi PA. On doprinosi i stabilnijem radu predajnika. Smanjenje induktiviteta zavojnice L_2 ima kao rezultat čvršću vezu među stupnjevima. To je zato jer se tada za rad na istoj frekvenciji mora povećati kapacitet kondenzatora C_7 . Na njemu se visokofrekventni napon zbog toga smanji a na C_8 istovremeno poveća.

Veza preko Pi-filtera je uvijek manje čvrsta nego li izravna, preko kondenzatora C_2 . Zato se događa da koji put nije moguće iskoristiti svu snagu koju bi mogao dati pobudni stupanj. Ako bi dakle pobuda bila preslaba bit će možda potrebno povećati anodni napon cijevi pobudnog stupnja (ako je to dopušteno) ili treba uzeti drugu, snažniju cijev.

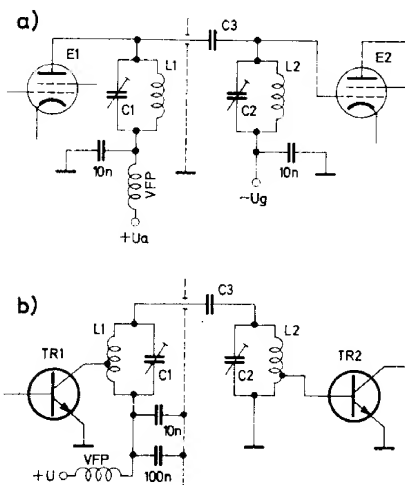
Veću selektivnost osigurava band-filter između dva stupnja, prema sl. 11-19. Kapacitet kondenzatora C_3 , koji služi za vezu među titraj-

nim krugovima, mora biti *vrlo malen*, toliki da se ugađanjem titrajnih krugova dobije *samo jedan resonantni »vrh«*. Taj maksimum može biti minimalno proširen, kao kod svakog kritički vezanog band-filtera. Titrajni krugovi L_1C_1 i L_2C_2 ne smiju biti u međusobnoj induktivnoj vezi. Najbolje je da je svaki za se u posebnom oklopu ili da je između njih barem dobra limena pregrada.

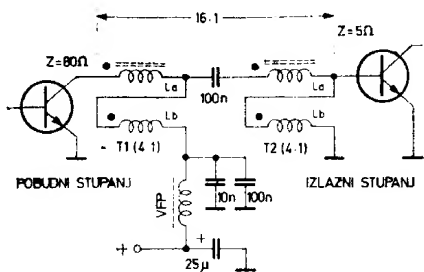
Za vezu između elektronskih cijevi (sl. 11-19a) nisu potrebni odvojeci na zavojnicama, ali za vezu između tranzistora (sl. 11-19b) priključci se moraju načiniti na odvojcima. I priključak kolektora tranzistora TR_1 , kao i priključak baze tranzistora TR_2 , moraju biti odabrani tako da se uz dovoljnu selektivnost osigura i pravilna, dovoljno jaka pobuda slijedećeg stupnja.

Pronalaženje odvojaka na zavojnicama titrajnih krugova nije uvijek najspretnije, osobito ako je u predajniku sve zbijeno sagrađeno. Osim toga upotreba odvojaka može dovesti do pojave neželjenih resonancija i nekontroliranog osciliranja na »divljim« frekvencijama. Zato se kod tranzistorskih stupnjeva za pojačanje snage u predajnicima primjenjuju i drukčija prilagođenja, kao u slijedećim primjerima.

Pretpostavimo li da kolektorski strujni krug nekog tranzistora treba opteretiti sa 80Ω impedancije ($Z = 80 \Omega$), dok je optimalna ulazna impedancija slijedećeg tranzistora samo 5Ω ($Z = 5 \Omega$), možemo potrebno prilagođenje postići primjenom transformatora, prema sl. 11-20. Impedancije se odnose kao $80 : 5 = 16 : 1$. Budući da su impedancije proporcionalne s kvadratom broja zavoja, problem je riješen s dva transformatora, T_1 i T_2 . Svaki od njih ima dva dijela, zavojnicu L_a i zavojnicu L_b . Obje imaju isti broj zavoja. Budući da su spojene u seriju, a transformirani VF napon se uzima na njihovom spojištu, transformatori T_1 i T_2 djeluju kao autotransformatori sa odnosom broja



Sl. 11-19. Bandfilterska veza između stupnjeva u predajnicima: a) u predajniku sa elektronskim cijevima; b) u tranzistorskom predajniku. Zbog potreba prilagođavanja tranzistori su na titrajne krugove spojeni preko odvojaka na zavojnicama



Sl. 11-20. Širokopojasna veza među tranzistorskim stupnjevima u predajniku, ostvarena s dva transformatora za prilagođenje, T_1 i T_2 . Vidi tekst

zavoja 2 : 1. Za impedancije je to odnos 4 : 1. Transformacija slijedi jedna za drugom pa se postiže ukupno smanjenje impedancije u omjeru 16 : 1. Kondenzator od 100 nF (između jednog i drugog transformatora) ima jedinu zadaću da odijeli istosmjernu strujne krugove prvog i drugog tranzistora. Kapacitet mu je toliko velik da za visoke frekvencije predstavlja slobodan prolaz. Transformatori T_1 i T_2 motani su *bifilarno* na feritnom prstenu ili štapiću tako da se obje žice spajaju u seriju. Tačkicama su označeni počeci tih žica. Prednost ovakvog načina je u tome da transformatori T_1 i T_2 rade neovisno o frekvenciji. Dakako, kod ovakvog širokopojasnog (aperiodskog) prenosa VF snage s jednog stupnja na drugi nema odabiranja frekvencije i prenosi se sve, i ono što trebamo i ono što bi nam na izlazu predajnika moglo biti nepoželjno. Zato treba na izlazu uključiti naknadni *filter* koji će propustiti samo željeni signal.

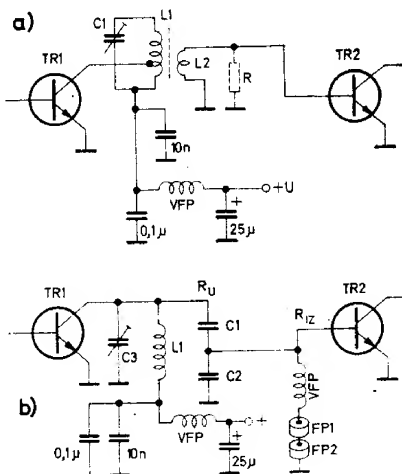
Transformaciju impedancije niže može se postići i u selektivnom pojačalu, prema sl. 11-21a. Zavojnica L_1 bi mogla biti i neka »obična«, ali u tranzistorskim predajnicima (do 30 MHz) uzimaju se zavojnice koje su namotane na prstenastoj jezgri od VF feromagnetičkog materijala. Zavojnica L_2 je tijesno vezana sa L_1 i ima približno 1/5 do

1/6 broja zavoja. Odvojak na L_1 odabire se tako da se kolektorska impedancija transformira na iznos ulazne impedancije tranzistora TR_2 . Otpornik R se dodaje samo onda kad postoji opasnost da se pojave nestabilnosti u stupnju sa TR_2 . Njegova vrijednost je obično između 5 i 27 Ω .

Transformacija impedancije može se postići i kapacitivnim razdjelnikom C_1/C_2 , sl. 11-21b. Resonancija se postiže ukupnim kapacitetom serije C_1/C_2 uz dodatak kapaciteta C_3 . Za odnos kapaciteta u razdjelniku vrijedi:

$$\frac{C_2}{C_1} = \sqrt{\frac{R_u}{R_{iz}}} - 1.$$

Baza tranzistora TR_2 ima u svom strujnom krugu visokofrekventnu prigušnicu *VFP*. S njom u seriji su još dvije feritne prigušnice, FP_1 i FP_2 . To su zapravo dva feritna zrnca navučena na žicu. Oni sprečavaju pobuđivanje onih oscilacija do kojih bi moglo doći u slučaju nezgodne kombinacije induktiviteta pri-



Sl. 11-21. Veza među tranzistorskim stupnjevima: a) induktivna, pomoću zavojnice L_2 ; b) pomoću kapacitivnog djelitelja. Objašnjenje u tekstu

gušnice VFP i vlastitog kapaciteta između njenih zavoja.

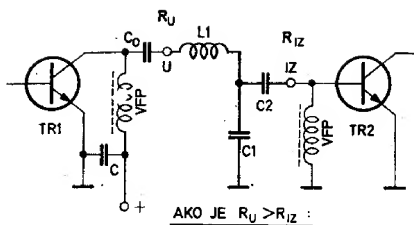
Primjena kapacitivnog razdjelnika, kod kojega je C_2 redovito veći od C_1 , ima i svoje prednosti. Preko C_2 odvode se i više harmoničke frekvencije tako da ne stignu do TR_2 . Također se sprečava pobuđivanje »divljih« (tj. nekontroliranih!) vrlo visokih frekvencija.

Nekoliko prilagodnih LC-mreža i njihov proračun

U tranzistorskim predajnicima se mogu naći i specifične prilagodne LC-mreže, kakvih nije bilo ranije u predajnicima s elektronskim cijevima. Jedna od njih je na sl. 11-22.

Zavojnica L_1 s kapacitetima kondenzatora C_1 i C_2 nacrtana je deblijim linijama. To je prilagodna LC-mreža, zapravo neka vrsta serijskog titrajnog kruga. Frekvencija na koju on resonira najlakše će proći od kolektora jednog do baze drugog tranzistora. Kod U je ulaz; kod I_Z je izlaz. Na ulazu LC-mreže neka impedancija bude R_U , a na izlazu R_{IZ} . Ako je ulazna impedancija veća od izlazne ($R_U > R_{IZ}$) vrijede formule koje su napisane na sl. 11-22. Pomoću njih možemo izračunati vrijednosti za pojedine dijelove ove mreže. Prije nego započnemo računom moramo se sjetiti da je ta mreža opterećena i da joj je zato Q -faktor smanjen na vrijednost Q_0 . U tranzistorskim stupnjevima ove vrste uzima se obično u račun vrijednost Q -faktora uz opterećenje: $Q_0 = \text{oko } 4$. Sa R_{L1} označen je induktivni otpor zavojnice L_1 ; sa R_{C1} i R_{C2} kapacitivni otpori kondenzatora C_1 i C_2 .

Drugi primjer prilagodne LC-mreže, sl. 11-23, uzima u obzir izlazni kapacitet prvog tranzistora, C_0 , ako ga ne možemo zanemariti. Neki tranzistori, namijenjeni za rad s većim snagama u predajniku imaju, naime, priličan izlazni kapacitet.



a) Odabрати Q_0

b) $R_{L1} = Q_0 R_U + R_{C0}$

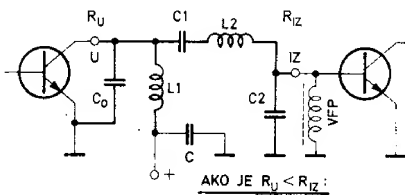
c) $R_{C2} = A R_{L1}$

d) $R_{C1} = \frac{B}{Q_0 - A}$

$$A = \sqrt{\left[\frac{R_U (1 + Q_0^2)}{R_{IZ}} \right] - 1}$$

$$B = R_U (1 + Q_0^2)$$

Sl. 11-22. Veza između dva stupnja u predajniku s tranzistorima, ostvarena LC-mrežom koja ujedno omogućuje prilagođenje u slučaju da je $R_U > R_{IZ}$. Vidi tekst



a) Odabрати Q_0

b) $R_{L1} = R_{C0}$

c) $R_{C1} = Q_0 R_U$

$$d) R_{C2} = R_{IZ} \sqrt{\frac{R_U}{R_{IZ} - R_U}}$$

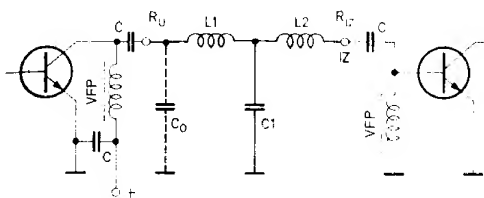
$$e) R_{L2} = R_{C1} \left(\frac{R_U R_{IZ}}{R_{C2}} \right)$$

Sl. 11-23. Veza između stupnjeva u slučaju da je $R_U < R_{IZ}$. Vidi tekst

Formule koje su navedene uz sliku vrijede za slučaj da je ulazna impedancija prilagodne mreže (R_U) manja od izlazne impedancije (R_{IZ} .)

Treći primjer takve LC-mreže, sl. 11-24, vrijedi u slučaju da je $R_U < R_{IZ}$, kao i za slučaj da je $R_U > R_{IZ}$.

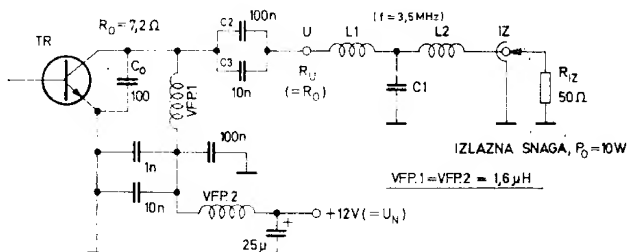
Kao primjer takvog izračunavanja sastavnih dijelova LC-mreže za prilagođenje neka posluži sl. 11-25. Tranzistor TR treba pravilno opteretiti. Ako je U_N napon napajanja ($= 12 \text{ V}$) i ako tranzistor može dati izlaznu snagu P_o od 10 W , možemo



AKO JE $R_U < R_{L1}$ I $R_U < R_{L2}$

- Odabrati Q_0
 - $R_{L1} = (R_U Q_0^2) + R_{C0}$
 - $R_{L2} = R_{LZ} B$
 - $R_{C1} = \frac{A}{Q_0 + B}$
- $A = R_U (1 + Q_0^2)$
 $B = \sqrt{\frac{A}{R_{LZ}} - 1}$

Sl. 11-24. Veza među tranzistorskim stupnjevima se u svakom slučaju može postići ovakvom prilagodnom LC-mrežom



$$\text{TR TREBA OPTERETITI SA } R_O = \frac{U_N^2}{2 P_O} = \frac{12^2}{20} = \frac{144}{20} = 7,2 \Omega (= R_U)$$

$$\text{a) } Q_0 = 4$$

$$\text{b) } R_{L1} = (R_U Q_0^2) + R_{C0} = (7,2 \times 4) + \frac{1000000}{2\pi \times 3,5 \times 100} = 28,8 + 455 = 484 \Omega$$

$$L1 = \frac{R_{L1}}{2\pi f} = \frac{484}{6,28 \times 3,5} = \frac{484}{21,98} = 22 \mu\text{H}$$

$$\text{c) } R_{L2} = R_{LZ} B$$

$$B = \sqrt{\frac{R_U (1 + Q_0^2)}{R_{LZ}}} = \sqrt{\frac{122,4}{50} - 1} = 1,2$$

$$R_{L2} = 50 \times 1,2 = 60 \Omega \quad [A = R_U (1 + Q_0^2) = 122,4]$$

$$L2 = 2,73 \mu\text{H}$$

$$\text{d) } R_{C1} = \frac{A}{Q_0 + B} = \frac{122,4}{4 + 1,2} = 23,5 \Omega$$

$$C1 = \frac{1}{2\pi f R_{C1}} = \frac{1}{6,28 \times 3,5 \times 23,5} = \frac{1}{516,5} = 0,0019 \mu\text{F} = 1900 \text{pF}$$

Sl. 11-25. Primjer izračunavanja vrijednosti elemenata LC-mreže primjenom formula sa sl. 11-24. Vidi i tekst

optimalno opterećenje tranzistora izračunati iz formule:

$$R_O = \frac{U_N}{2 P_O} = \frac{144}{20} = 7,2 \Omega$$

Opteretni otpor R_O je na ulazu LC-mreže, pa mora biti $R_O = R_U$.

Ako za Q_0 (Q-faktor uz opterećenje!) odaberemo 4, možemo — u skladu sa formulama na sl. 11-24 — računati redom: a), b), c) i d). Tok

čitavog računa je na sl. 11-25. Kad smo izračunali R_{L1} lako dobijemo i sam induktivitet zavojnice. Pritom izračunatu vrijednost za induktivni otpor zavojnice $L1$ (R_{L1} = »induktancija«) od 484 Ω uvrstimo u formulu (pod b), u kojoj mora biti uvrštena i frekvencija (u megahercima!), da se induktivitet dobije u mikrohenrijima (μH). Slično vrijedi i za induktivitet $L2$ (pod c). Za izra-

čunavanje kapaciteta kondenzatora C_1 treba najprije izračunati kapacitivni otpor ($R_{C_1} = \text{»kapacitancija«}$) u omima ($23,5 \Omega$). Ako se frekvencija uvrsti u megahercima, konačan rezultat izlazi u *mikrofarama* (μF). Lako je onda preračunati: $0,0019 \mu\text{F} = 1900 \text{ pF}$.

Cijeli taj račun izvršen je za frekvenciju od 3,5 MHz, uz pretpostavku da je izlazni kraj LC-mreže opterećen sa 50Ω . To može biti svašta: ulazna impedancija slijedećeg stupnja, otpornik za mjerenje izlazne snage (»vlažna« ili »veštačka antena«, vidi str. 711) ili čak antenski koaksijalni kabel! U ovom posljednjem slučaju tranzistor TR na sl. 11-25 mogao bi biti i posljednji u nizu tranzistorskih stupnjeva u predajniku.

NEKONTROLIRANE I PARAZITSKE OSCILACIJE

U svim stupnjevima predajnika koji služe za pojačanje snage visokofrekventnih oscilacija može se, u određenim uvjetima, pojaviti nekontrolirano titranje na frekvencijama koje su blizu radnoj frekvenciji ili parazitske oscilacije na neočekivano visokim, često *vrlo* visokim frekvencijama. Protiv prvih se primjenjuje tzv. neutralizacija. Protiv drugih pomažu posebne mjere.

Neutralizacija u predajniku

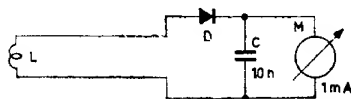
Ako su u nekom stupnju predajnika ulazni i izlazni titrajni krug ugođeni na istu frekvenciju dovoljna je već neka slaba povratna veza između tih krugova da se pobude oscilacije.

Ovakvu mogućnost povratne veze treba spriječiti u prvome redu pažljivim rasporedom sastavnih dijelova i međusobnih spojeva tako da titrajni krugovi mimo elektronske cijevi ili tranzistora nikako, ni kapacitivnim ni induktivnim putem, ne mogu djelovati jedan na drugi.

Metalne pregrade i potpuno oklapanje ulaznih i izlaznih titrajnih krugova tu može mnogo pomoći. Također moraju svi vodovi kojima teku visoke frekvencije biti što je moguće kraći. Isto vrijedi i za montažu onih kondenzatora koji služe za kapacitivno uzemljivanje ulaznog i izlaznog titrajnog kruga. Ove je kondenzatore najbolje najkraćim mogućim putem spojiti s katodom cijevi.

Da ispitamo postoji li u nekom stupnju predajnika s cijevima neka neplanirana veza između ulaznog i izlaznog titrajnog kruga, poslužiti će nam osjetljivi indikator koji možemo lako sagraditi prema sl. 11-26. Elektronsku cijev treba izvaditi iz podnožja i, ako je anoda cijevi spojena na podnožje, treba odlemiti spoj između izlaznog titrajnog kruga i nožice za priključak anode. Kad smo to učinili, uključimo pobudni stupanj i dovedemo njegove titrajne krugove u resonanciju. Indikatoru zavojnicu L (1 do 2 zavoja!) približimo izlaznoj zavojnici i pokušamo okretanjem promjenljivog kondenzatora izlazni titrajni krug dovesti u resonanciju. Pri tome pažljivo promatramo mjerni instrument M indikatora. Pokaže li on bilo kakav otklon, znak je da titrajni krugovi djeluju jedan na drugi. Ne preostaje drugo već dodati pregradne ploče ili, ako to nije dosta, drugačije razmjestiti dijelove.

Kapacitet između anode i prve mrežice C_{ag} je kod pentoda i tetroda koje su predviđene za rad u predajnicima smanjen na najmanju moguću mjeru, redovito ispod 1 pF . To se ima zahvaliti u prvom redu djelovanju zaštitne, druge mrežice.



Sl. 11-26. Indikator za izvođenje neutralizacije. L = zavojnica od 1 do 2 zavoja; D = germanijeva kristalna dioda

Ipak, obzirom na vrlo veliko pojačanje koje se postiže s takvim cijevima, može i sasvim mali unutrašnji kapacitet u određenim uvjetima, osobito kod vrlo visokih frekvencija biti dovoljan da se pojave oscilacije.

Najbolje je u takvom slučaju, da stabilnost visokofrekventnog pojačala snage u predajniku postignemo *neutralizacijom*. Kroz unutrašnje kapacitete cijevi jedan se mali dio visokofrekventne energije vraća sa izlaznog na ulazni titrajni krug. Ako nekim drugim putem dovedemo ulaznom titrajnom krugu jednako velik visokofrekventni napon ali sa suprotnom fazom, možemo poništiti, tj. neutralizirati štetno djelovanje unutrašnjih kapaciteta.

Na sl. 11-27a vidimo kako se neutralizacija može izvršiti induktivnim putem. Zavojnica L_2 uzima malo visoke frekvencije sa izlaznog titraj-

nog kruga. Budući da je L_2 preko linije niske impedancije spojena sa zavojnicom L_1 , može se ulaznom titrajnom krugu predati ta visoka frekvencija. Koliko će visokofrekventne energije biti vraćeno na ulaz ovisi o veličini zavojnice L_1 i L_2 , te o njihovim udaljenostima od zavojnica titrajnih krugova. Zavojnice L_1 i L_2 imaju obično 1 do 2 zavoja i mogu se po volji primaknuti ili odmaknuti. Ako se sada pojave oscilacije ili postojeće pojačaju, znači da je povratna veza pozitivna. Za neutralizaciju je potrebno djelovanje *negativne* povratne veze. Da se to postigne dovoljno je međusobno zamijeniti priključke jedne neutralizacijske zavojnice.

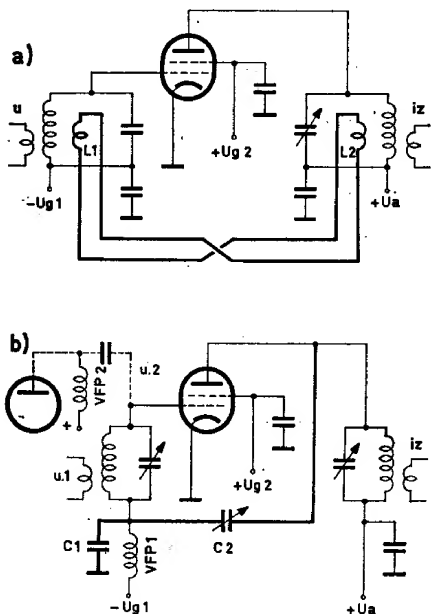
Kapacitivni način neutralizacije vidimo na sl. 11-27b. C_2 je neutralizacijski kondenzator koji zajedno sa C_1 čini neutralizacijski sklop kakav se i naknadno može ugraditi u predajnik. Kondenzator C_2 je promjenljiv da bi se lakše mogli postići najbolji odnosi. Veličinu kapaciteta C_2 možemo odrediti za svaki konkretni slučaj prema formuli:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{C_{ag}}{C_{in}}$$

Ovdje C_{ag} znači unutrašnji kapacitet između anode i prve mrežice, a C_{in} je ulazni kapacitet u koji treba uračunati kapacitet između prve mrežice i ostalih elektroda cijevi (tzv. sam ulazni kapacitet cijevi) i kapacitet svih vodova ulaznog sklopa prema šasiji. Na taj način C_{in} može iznositi 5 do 25 pF, prema prilikama. U vrijednost kapaciteta C_2 treba uračunati i izlazni kapacitet cijevi zajedno s kapacitetom svih vodova izlaznog sklopa.

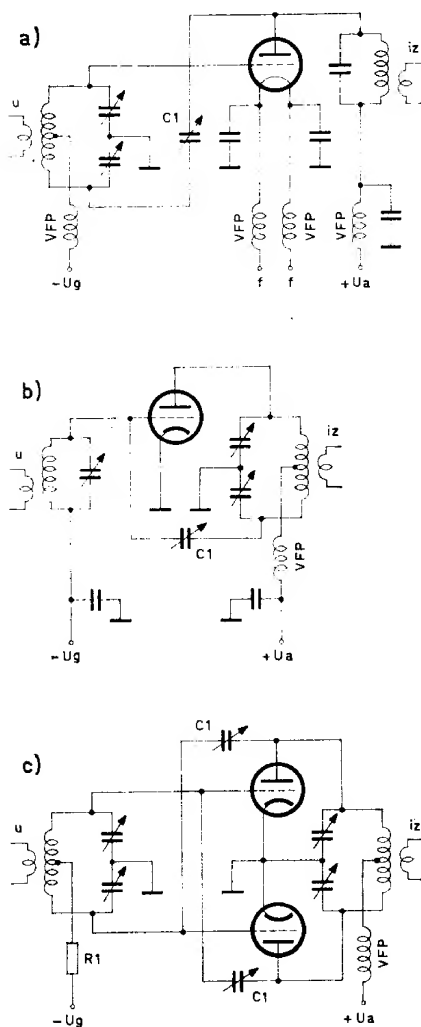
Takvom neutralizacijom se mogu osposobiti za rad u predajniku i različite izlazne pentode koje su inače konstruirane za rad u niskofrekventnim pojačalima (EL 81, EL 84, EL 34, EL 36 itd.).

Za neutralizaciju trioda koje imaju mnogo veće unutrašnje kapacitete među elektrodama obično služe sklopovi koji su prikazani na



Sl. 11-27. Neutralizacija pojačala snage u predajniku s tetrodom ili pentodom: a) induktivna; b) kapacitivna

sl. 11-28. U primjeru na sl. 11-28a mora na ulazu biti dvostruki ili promjenljivi kondenzator s dva statora. Povratna veza za neutralizaciju postiže se preko kondenzatora C_1 . Potrebna suprotna faza je osigurana na taj način da C_1 nije u vezi s onim krajem titrajnog kruga koji je spojen na mrežicu već na suprotan



Sl. 11-28. Tri primjera neutralizacije triodnih cijevi u predajniku. Vidi tekst

kraj. Takvu neutralizaciju se mora načiniti ako je na izlazu pojačala jednostavan titrajni krug ili ako je ondje Pi-filter.

Ako se na izlazu visokofrekventnog pojačala snage može upotrebiti dvostruki promjenljivi kondenzator, neutralizacija se izvodi prema sl. 11-28b. Neutralizacijski kondenzator je opet označen kao C_1 .

Dvije triode u protufaznom spoju (»push-pull«) daju dvostruku snagu. Na ulazu i na izlazu takvog pojačala snage redovito je upotrebljen dvostruki promjenljivi kondenzator, pa se neutralizacija može postići s dva neutralizacijska kondenzatora (sl. 11-28c).

Neutralizacijski kondenzator C_1 u sva tri primjera na sl. 11-28 mora se namjestiti na vrijednost kapaciteta koja je približno jednaka unutrašnjem kapacitetu C_{ag} cijevi. Zato njegov maksimalni kapacitet treba da je nešto veći od toga.

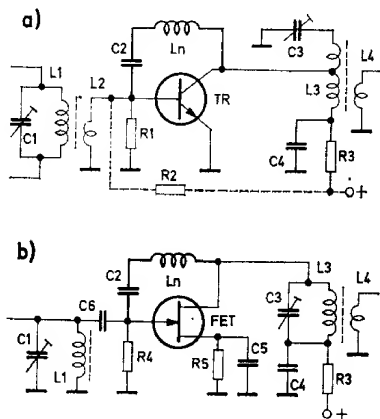
Izvršiti neutralizaciju nije teško ako se poslužimo indikatorom prema sl. 11-26. U stupnju koji želimo neutralizirati treba isključiti pozitivni napon za anodu i, kod pentoda i tetroda, napon za drugu mrežicu. Neutralizacijski kondenzator treba sasvim otvoriti a indikator primaknuti zavojnici izlaznog titrajnog kruga. Pri tome ne valja ići preblizu da ne strada mjerni instrument i da ne pregori dioda. Sada uključimo pobudni stupanj i ugodimo na resonanciju ulazni i izlazni titrajni krug stupnja koji želimo neutralizirati. Instrument M neka pritom pokazuje maksimalni otklon negde oko $3/4$ skale. U tu svrhu ćemo morati naći najpovoljniju udaljenost između izlazne zavojnice i zavojnice L indikatora.

Kad smo to postigli, zatvaramo malo-pomalo neutralizacijski kondenzator i svaki put popravimo ugađanje ulaznog i izlaznog titrajnog kruga. Otklon kazaljke instrumenta M indikatora postaje pomalo sve manji, da onda opet, kod daljnjeg zatvaranja neutralizacijskog kondenzatora, počinje rasti. Stupanj je

neutraliziran onda kad indikatorov mjerni instrument više ne pokazuje nikakav ili samo sasvim nezna-
tan otklon.

Uklonimo sada indikator i priključimo anodni napon (i napon zaštitne mrežice kod pentoda i tetroda!) i predajnik je sposoban za rad, ako smo neutralizaciju *tačno* i *strpljivo* izvršili. Uz malo vježbe ovo se može razmjerno brzo postići.

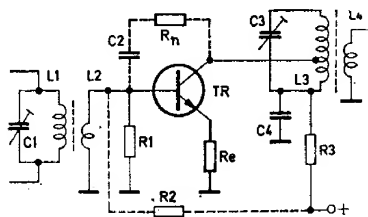
Neutralizacija se može postići i u tranzistorskim pojačalima. Nekoliko primjera bilo je opisano u poglavlju o prijemnicima. Ovdje ćemo pokazati neutralizaciju zavojnicom L_n , sl. 11-29. Na crtežu a) je *bipolarni* («obični»), a na crtežu b) *unipolarni* (FET) tranzistor. I jedan i drugi imaju neki kapacitet između kolektora i baze, odnosno između drejna i gejta-elektrode. Tim putem se jedan dio visokofrekventne energije vraća sa izlaznog titrajnog kruga (L_3C_3) na ulazni (L_1C_1), što može biti uzrok pobuđivanju oscilacija. Veličina «povratnog» kapaciteta može biti od 0,15 pF (BF 167) i 0,23 pF (BF 173) do nekoliko pF i više kod većih tranzistora (za predajnike), uz uvjet da im je uzemljen emiter (odnosno surs-elektroda). Taj podatak treba uzeti iz kataloga za upotrebu-



Sl. 11-29. Neutralizacija tranzistor-
skih pojačala zavojnicom L_n : a)
kod bipolarnih tranzistora; b) kod
tranzistora tipa FET

ljeni tranzistor. Zatim se načini za-
vojnica za neutralizaciju L_n tako da
ona resonira na radnoj frekvenciji
našeg pojačala sa kondenzatorom
kojemu je kapacitet jednak onom
»povratnom« u tranzistoru. Poslije
toga se L_n može jednostavno ugra-
diti na svoje mjesto uz tranzistor.
Kondenzator C_2 (sl. 11-29) ima redo-
vito velik kapacitet (između 10 nF i
100 nF, ovisno o frekvenciji) i nema
utjecaja na usn'ieh neutralizacije.
Jedina mu je zadaća *da spriječi gal-
vanski spoj* između kolektora (drej-
na) i baze (gejta). Poslije ugradnje
zavojnice L_n , koja je prethodno bila
već ugođena, bit će možda potrebno
još samo vrlo malo popraviti induk-
tivitet (VF željeznom jezgrićom!) da
se postigne potpuno stabilan rad
tranzistorskog VF pojačala.

Ima konstruktora koji nerado
primjenjuju neutralizaciju. Oni ra-
di-je smanje pojačanje tranzistor-
skog stupnja služeći se *negativnom
povratnom vezom*, kao na sl. 11-30.
Nekad je dosta da se u emitorski
strujni krug stavi otpornik R_e od
nekoliko oma. Taj je otpornik isto-
vremeno u ulaznom i u izlaznom
strujnom krugu. Preko njega teče
struja baze i struja kolektora. Zbog
pada istosmjernog napona na otpor-
niku R_e postiže se i bolja termička
stabilnost. Ako bi kolektorska stru-
ja zbog povišenja temperature sa-
mog tranzistora »htjela« porasti, na
 R_e nastaje veći pad napona koji svo-
jim djelovanjem na strujni krug
baze »zatvara« tranzistor i sprečava
porast kolektorske struje. Tranzis-
tor se ne može više lako pregrijati.



Sl. 11-30. Sprečavanje samooscilira-
nja otpornicima. Vidi tekst

Na istom otporniku pojavljuju se i visokofrekventni naponi koji također povratno djeluju na primarni pobudni strujni krug. *Pobuda se smanjuje* a opasnost samopobuđivanja postaje također manja. To je razlog da je i pojačanje u takvom stupnju manje, što treba možda nadoknaditi kojim stupnjem više.

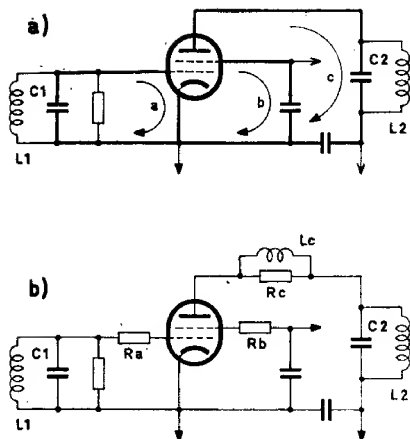
U novije vrijeme može se u tranzistoriziranim predajnicima naći još jedna vrsta negativne povratne veze, sl. 11-30. To je otpornik R_n . On svojim položajem podseća na neutralizacijsku zavojnicu. Taj otpornik ostvaruje negativnu povratnu vezu, uz smanjenje pojačanja. Ovo djelovanje je *širokopojasno*, dok je neutralizacija zavojnicom L_n (sl. 11-29) *selektivna* i vrijedi samo unutar užih frekventnih opsega.

Parazitske oscilacije

Parazitske se oscilacije mogu pojaviti gotovo u svakom visokofrekventnom snažnom pojačalu. Za to postoji više mogućnosti. Uzrok pojavi parazitskih oscilacija može biti u loše položenim ili predugačkim vodovima u blizini elektronske cijevi ili između tranzistora.

Deblje crte na sl. 11-31a pokazuju koji su to vodovi. Oni mogu resonirati na vrlo visoke frekvencije. Ako vodovi koji formiraju petlju *a* na ulazu cijevi resoniraju na istu frekvenciju kao i petlja *b* u strujnom krugu druge mrežice ili petlja *c* na izlazu, cijev se ponaša kao oscilator. On proizvodi oscilacije na vrlo visokim frekvencijama, najčešće u ultrakratkovalnom području. Ove dakako smetaju normalnom radu predajnika, pretečući samu cijev i, povrh toga, ako takve oscilacije dođu do antene one mogu biti uzrokom nepodnošljivim smetnjama u radio-aparatima i televizorima u blizini i nadaleko.

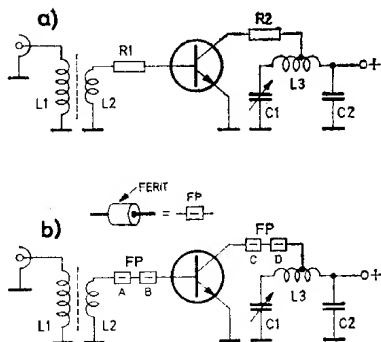
Stvaranje ovakvih parazitskih oscilacija treba spriječiti odmah kod gradnje predajnika. U tu svrhu se, prema sl. 11-31b, ugrađuju pri-



Sl. 11-31. Nastajanje (a) i uklanjanje parazitskih oscilacija (b) u predajniku sa elektronskim cijevima

gušni otpornici. Otpornik R_a može imati 50 do 100 Ω i mora biti zalemljen tijesno uz priključak prve mrežice na podnožju cijevi. I otpornik R_b u strujnom krugu druge mrežice ima takvu vrijednost i mora biti zalemljen na isti način. Otpornost tih otpornika mora se ravnavati prema jakosti struje prve, odnosno druge mrežice. Za R_a ćemo redovito moći uzeti jednostavni otpornik najmanjeg otpora koji osigurava stabilan rad i na najvišim frekvencijama. Kod većih elektronskih cijevi može struja zaštitne mrežice biti prilično jaka. Tada ćemo za R_b staviti nekoliko jednostavnih otpornika paralelno. Njihove pojedinačne otpore ćemo odabrati tako da im zajednička vrijednost bude oko 50 do 100 Ω ili, kod najjačih cijevi, što manja ali ipak tolika da je osiguran stabilan rad i na najvišim frekvencijama.

U anodnom strujnom krugu se u tu svrhu obično stavlja mala zavojnica od 3 do 5 zavoja 1 mm debele žice. Zavoji su namotani na promjeru od 1 do 2,5 cm, prema snazi predajnika. Zavojnica je premoštena otpornikom R_c koji ima oko 100 Ω i opteretivost od 1 W ili više.



Sl. 11-32. Sprečavanje pojave parazitskih oscilacija u tranzistorskim predajnicima: a) pomoću otpornika; b) upotrebom feritnih zrnaca koja navučena na žicu, predstavljaju malen dodatni induktivitet (FP = feritna prigušnica)

Svi spomenuti otpornici moraju biti neinduktivni. Prema tome žicom motani otpornici nisu dobri za ove primjene.

U tranzistorskim stupnjevima za snažno pojačanje može doći do istih pojava. Parazitske oscilacije su opasne i za sam tranzistor. Ako su prejake, tranzistor može biti pretrećen toliko da dođe do proboja u njegovoj unutrašnjosti, nakon čega je potpuno neupotrebljiv.

Da se izbjegne pojava parazitskih oscilacija, mogu se tranzistorska pojačala u predajniku »osigurati« na isti način, kao i elektronske cijevi. Na sl. 11-32a prisutnost otpornika R_1 i R_2 onemogućuje tu nepoželjnu pojavu. Veličina tih otpornika, i mehanička i električna, mora biti mala. Dovoljno je 5 do 15 Ω , uz opteretivost koja ovisi o strujama koje teku kroz njih. U svakom slučaju treba računati s time da i ti otpornici troše nešto energije. Zato postoji mogućnost da R_1 smanji pobudu. Na R_2 može doći do pada napona i — s tim u vezi — do pada izlazne snage.

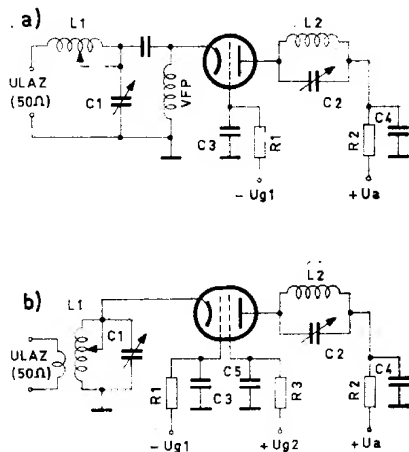
Da se ovi nedostaci izbjegnu, moguće je umjesto otpornika upotrijebiti, prema sl. 11-32b, mala feritna

zrnca, u obliku prstenčića (»perla«), koji se jednostavno navuku na spojne vodove. Feritni prstenčići djeluju kao minijaturne visokofrekventne prigušnice, onemogućujući resonanciju samih vodova na vrlo visoke frekvencije. Tako je sprečena i pojava parazitskih oscilacija.

GG i GB pojačala u predajniku

Pojačala sa uzemljenom mrežicom (grounded grid, »GG«), koja smo već ranije opisali govoreći o UKV prijemnicima, mogu dobro poslužiti i u predajnicima. Primjer GG-pojačala s triodom vidimo na sl. 11-33a. Mrežica triode je za visoke frekvencije uzemljena preko kondenzatora C_3 i služi kao neka vrsta pregrade između anode i katode. Na taj je način, osobito kod frekvencija do 30 MHz, nepotrebna neutralizacija. Zbog uzemljene mrežice je naime kapacitet između anode i katode (C_{ak}) tako malen da se oscilacije redovito ne mogu pobuditi i pojačalo radi sasvim stabilno.

Na sl. 11-33b je za GG-pojačalo upotrebljena tetroda. Njezine obje mrežice su kapacitivno uzemljene pomoću kondenzatora C_3 i C_5 . Ra-



Sl. 11-33. GG-pojačala (»grounded grid«): a) s triodom; b) s tetrodom

zumije se, svaka elektroda mora dobiti svoj normalan radni potencijal. To su U_{g1} i U_{g2} , koji se svaki sa svojim ispravnim polaritetom moraju dovesti na odgovarajuće elektrode, tačno prema podacima za odabrani režim rada cijevi, ovisno o anodnom naponu i klasi (AB, B ili C). Za određenu cijev se ovi podaci mogu naći u tvorničkim prospektima a vrijede i za primjenu iste cijevi u GG-pojačalu.

Ako u GG-pojačalo želimo staviti neku pentodu, onda to mora biti takva cijev kod koje je priključak treće mrežice posebno izveden na nožištu. Tada se treća mrežica direktno uzemljuje. Pentode kod kojih je treća mrežica unutar cijevi spojena s katodom obično ne rade dobro u GG-pojačalima, budući da je ta mrežica onda na visokofrekventnom potencijalu katode. Ona se nalazi razmjerno blizu anodi, što u ovom slučaju dovodi do povećanja kapaciteta između anode i katode i, preko ovoga, do nepoželjno velike povratne veze između ulaznog i izlaznog titrajnog kruga. Rezultat bi bio, osobito na višim kratkovalnim frekvencijama, samopobuđivanje GG-pojačala.

U nekim izlaznim pojačalima za predajnike ovoga tipa možemo naći pentode kod kojih su sve tri mrežice najkraćim putem u direktnoj vezi sa limenom šasijom. Ovakvo uzemljivanje mrežica se prakticira kod onih elektronskih cijevi koje su inače namijenjene za otklonske sisteme u televizorima. To su, npr., EL 36, EL 500, EL 504 i njima slične. Budući da druga mrežica u tom slučaju nije pozitivno nabijena, anodna struja je vrlo slaba. Uz visokofrekventnu pobudu na katodi poraste jakost anodne struje i cijev radi u režimu koji odgovara pojačalima klase B.

U svakom slučaju treba za visokofrekventnu pobudu GG-pojačala preko katode *veća snaga* nego onda ako ista cijev radi u pojačalu sa uzemljenom katodom. To nije možda zato jer bi uzemljena mrežica

zahtijevala jaču pobudu, već zato što se veći dio snage, uložene za pobuđivanje pojačala, pojavljuje na izlazu i *dodaje* izlaznoj snazi koju bi cijev inače redovito mogla dati. Ovo je, uz uvjet da za pobudu stoji dovoljno snage na raspolaganju, prednost kod telegrafije (CW) kao i onda ako GG-pojačalo služi kao *linearno*, za pojačanje drugih vrsta signala, osobito za SSB.

Slična tranzistorska pojačala su ona sa uzemljenom bazom (GB-pojačala; »*Grounded Base*«) i sa uzemljenim gejtom (također GG-pojačala; »*Grounded Gate*«). Ona su također veoma stabilna. Kao kod GG-pojačala s elektronskim cijevima, ni kod njih *nije potrebna neutralizacija*. Parazitske oscilacije se također, u najviše slučajeva, ne javljaju. Ipak je zanimljivo da se takva tranzistorska pojačala mogu naći u prijemnicima, osobito za UKV, ali ih u predajnicima najčešće nema! Razlog se možda može pronaći u tome što je *ulazna impedancija* takvih tranzistorskih stupnjeva vrlo mala.

Konstruktori tranzistorskih predajnika radije se služe pojačalima kod kojih je emiter tranzistora uzemljen. Protiv pobuđivanja neželjenih oscilacija oni najčešće primjenjuju negativne povratne veze i, povrh svega, upotrebljavaju titrajne krugove i selektivne filtere s niskim Q-faktorima.

IZLAZNI STUPNJEVI PREDAJNIKA

Izlazni stupanj predajnika bilo koje snage možemo smatrati jednom vrstom generatora električne energije. U grubim crtama, za sve generatore moraju postojati neke zajedničke karakteristike.

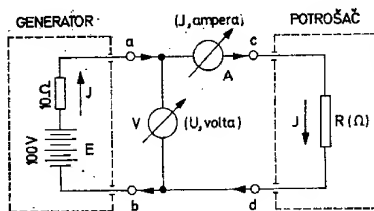
Generator električne energije, na sl. 11-34, i neki potrošač međusobno su spojeni. Prvi daje, a drugi troši. Na koji način može potrošač crpiti *najviše* energije iz generatora? Odgovor koji na ovo pitanje daje teo-

rija je jednostavan: Najviše električne energije potrošač crpe onda, kad je njegov otpor jednak unutrašnjem otporu generatora!

Teoretičar je time riješio problem. Ali, hoće li tehničar baš tako postupiti? Za praktičnu primjenu tehničar mora postaviti i drugo pitanje: Koja je tome cijena? Koliko se smije opteretiti generator da trošenje raspoložive energije bude ekonomično? Konačno, nijedan generator ne daje ništa besplatno!

Uz pretpostavku, sasvim proizvodljivu, da je elektromotorna sila E , koja je sadržana u generatoru, 100 V, te da je njegov unutrašnji otpor 10 Ω , potrošač će moći — kao maksimum — uz jakost struje od 5 A i napon na svojim priključnicama od 50 V crpiti 250 W. To se može izračunati primjenom osnovnih zakona elektrotehnike (vidi u 2. poglavlju ove knjige).

Što će se dogoditi ako potrošač nema toliki vlastiti otpor? Ako mu je on, npr. četiri puta veći ili četiri puta manji? Odgovor je izračunat



POTROŠAČ (R)	STRUJA (J)	NAPON (U)	SNAGA		η (%)
			UKUPNO	KORISNO	
10 Ω	5 A	50 V	500 W	250 W	50
40 Ω	2 A	80 V	200 W	160 W	80
25 Ω	8 A	20 V	800 W	160 W	20
0 Ω	10 A	0 V	1000 W	0 W	0
∞	0 A	100 V	0 W	0 W	—

Sl. 11-34. Odnos između generatora i potrošača električne energije. Na slici je jednostavan generator istosmjerne struje. Ipak ima i sličnosti sa generatorima VF energije u predajnicima i njihovim odnosima prema potrošaču. Vidi tekst

na tablici, uz sl. 11-34. U oba slučaja potrošač dobije samo 160 W. Kako vidimo, nije svejedno kako dolazimo do tih 160 W. Ako je otpor potrošača 4 puta veći od unutrašnjeg otpora generatora, postigne se korisnih 160 W koji su 80% od ukupnog utroška energije. U generatoru se također troši jedan dio koji nije moguće iskoristiti!

Istih 160 W možemo iskoristiti i u potrošaču koji ima četiri puta manji otpor. Jakost struje je onda mnogo jača. Iskorištenje je samo 20%! U generatoru propada čak 80%!

Teoretičarov »maksimum« za tehničara je »preskup«, jer 50% raspoložive snage (i energije!) beskorisno propada. Tehničar će od opisanih mogućnosti opterećenja izabrati onu kod koje je iskorištenje najbolje.

Jednostavan primjer generatora istosmjerne struje (sl. 11-34) ne može se u svemu uporediti sa izlaznim stupnjem predajnika. Ali, i on je generator. Upravo zato treba i kod njega paziti da bude pravilno opterećen. I kod predajnika treba paziti na iskorištenje ukupne električne energije. U protivnom ćemo dobiti premalo izlazne snage ili ćemo opasno i uzaludno opterećivati elektronsku cijev ili tranzistor, uz premalo korisne snage!

Ulazna, izlazna i pobudna snaga

Visokofrekventno pojačalo (PA) ima u predajniku zadatak da pojača snagu visokofrekventnog signala. Takvo pojačalo je redovito na izlazu predajnika pa se onda naziva i izlaznim stupnjem. Ispred izlaznog stupnja redovito se nalaze visokofrekventna pojačala koja služe za pobuđivanje. Na izlazni stupanj se spaja antenski sistem koji možemo smatrati potrošačem visokofrekventne energije.

Izlazni stupanj predajnika možemo, prema tome, smatrati generatorom visokofrekventne energije.

Kod svakog je generatora važan njegov stupanj djelovanja, tj. broj koji nam kaže kakav je odnos između uložene pogonske energije i one količine željene vrste energije koju nam generator može dati. Pogonsku energiju svako visokofrekventno pojačalo snage, bilo ono sa elektronskom cijevi ili s tranzistorom, prima od istosmjerne električne struje koja teče uz određeni napon. Umnožak anodnog (odnosno kolektorskog) napona sa jačinu struje koja teče preko anode (odnosno kolektora) naziva se *ulazna snaga* određenog stupnja. Ako je to izlazni stupanj onda je to ujedno *ulazna snaga (INPUT) predajnika*. To je dakle električna energija koju svake sekunde, troši taj stupanj.

Visokofrekventno pojačalo snage proizvodi visokofrekventnu energiju. Energija koju ono svake sekunde proizvede zove se *izlazna snaga (OUTPUT)*. Omjer izlazne i ulazne snage je *iskorištenje*.

Kao primjer neka posluži izlazna elektronska cijev 807 (QE 06/50) koja je već decenijama vrlo popularna među amaterima. Uz anodni napon od 750 V može njezina anodna struja iznositi 100 mA.

$$\begin{aligned}\text{INPUT} &= 750 \text{ V} \times 100 \text{ mA} = \\ &= 750 \text{ V} \times 0,1 \text{ A} = 75 \text{ W}\end{aligned}$$

Iz tvorničkih podataka možemo pročitati da je izlazna snaga predajnika, u kojemu je ova cijev u posljednjem stupnju, 50 W. Iskorištenje je, prema tome:

$$\frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} = \frac{50 \text{ W}}{75 \text{ W}} = 0,667 = 66,7 \%$$

To znači da će se samo dvije trećine uložene, tzv. ulazne snage moći iskoristiti u obliku visokofrekventne izlazne snage. Ovo međutim nije moguće sa istom cijevi postići u *svakom* predajniku. Postignuto iskorištenje je teoretski izračunato ili je izmjereno u određenim optimalnim uvjetima kod fabričkog ispitivanja ove cijevi. Kod amaterskih samogradnja vrlo često nisu ispunjeni svi preduvjeti za najpovolj-

niji rad cijevi, pa je izlazna snaga (OUTPUT) unatoč jednakoj ulaznoj snazi (INPUT) *manja*. Iskorištenje je manje! Obično se može za grubu orijentaciju uzeti da je iskorištenje kod predajnika koji su sagrađeni od amatera oko 50%.

Izlazna snaga, a samim time i iskorištenje, ovisi o izboru radne tačke, o svojstvima same elektronske cijevi (ili upotrebljenog tranzistora) a osobito o tome da li je *pobuda* dovoljna. Ako neki stupanj predajnika treba da pojačava snagu onda će izlazna snaga, dakako, ovisiti o tome kolika je snaga dovedena na ulaz tog pojačala. Da se dobije određena izlazna snaga mora i ova *pobudna snaga* biti dovoljno velika. želimo li da nam, npr., cijev 807 uz anodni napon od 750 V dade onih 50 W, mora — prema tvorničkim podacima — pobudna snaga, dovedena strujnom krugu prve mrežice, iznositi 0,22 W. Treba i više od toga, ako je predajnik loše građen ili sa nekvalitetnim dijelovima, jer treba nadoknađivati gubitke.

Odnos pobudne i izlazne snage je mjera za pojačanje snage u nekom stupnju predajnika. Ovaj odnos, kao i moguća izlazna snaga, ovise još i o izboru radne tačke.

Navedeni podaci za cijev 807 vrijede ako ona radi u klasi C, sa velikim radnim prednaponom prve mrežice. Za pojačala klase C je potrebna najveća pobudna snaga, ali zato imaju i najbolje iskorištenje i najveću izlaznu snagu. Pojačala koja rade u klasi B trebaju manju pobudnu snagu, dok ona u klasi A ne trebaju nikakvu ili samo minimalnu snagu za svoj rad. Izlazna snaga pojačala u klasi B je manja od one kod pojačala u klasi C. Ako pojačalo radi u klasi A, izlazna snaga je još manja. Ipak, i pojačala koja rade u klasi A i B imaju svoje posebne prednosti. Kod njih je u širokim granicama izlazna snaga izravno proporcionalna sa ulaznom. Zato ih nazivamo *linearnim* pojačalima. Toga svojstva pojačala klase C nemaju!

Za istu elektronsku cijev može mo u tvorničkim podacima naći različite podatke, već prema svrsi kojoj će služiti, prema visini frekvencije i prema drugim različitim uvjetima rada. Podaci se također razlikuju ako cijev treba da služi u predajnicima koji su skoro neprestano u pogonu (»CCS«, *Continuous Commercial Service*) ili ako su samo povremeno u pogonu, npr. kod radioamatera (»ICAS«, *Intermittent Commercial and Amateur Service*). Pri tome su opterećenja cijevi sa CCS općenito manja od onih za ICAS. Amateri mogu cijevi svojih predajnika jače opterećivati (ICAS), jer su razmjerno rijetko u pogonu. Unatoč toga cijevi u amaterskim radio-stanicama traju prilično dugo.

Kod tranzistora ne treba *nikada* preći ni naponsko, ni strujno opterećenje koje dopuštaju tvornički podaci. Bolje je ostati malo ispod tih vrijednosti. Osim toga treba dovoljno velikim hladnjakom spriječiti pregrijavanje tranzistora.

Izračunavanje pravilnog opterećenja

Ovisno o tome da li elektronska cijev ili tranzistor radi u klasi A, AB, B ili C, električna struja će različito teći. Drukčije će biti kod signala stalne amplitude, a drukčije kod signala kojima se amplituda mijenja. Ispitivanjima, mjerenjima i na temelju obilnog iskustva došlo se do podataka o tome kakvo opterećenje mora biti za pravilan rad izlaznog stupnja u predajniku. Ako otpor (impedanciju) opterećenja bilježimo sa R_o , vrijedi:

Za elektronske cijevi

u klasi A:

$$R_o = \frac{\text{Anodni napon (V)}}{1,3 \times \text{anodna struja}},$$

u klasi B:

$$R_o = \frac{\text{Anodni napon (V)}}{1,57 \times \text{anodna struja}},$$

u klasi C:

$$R_o = \frac{\text{Anodni napon (V)}}{2 \times \text{anodna struja}}.$$

Za tranzistore:

$$R_o = \frac{(\text{kolektorski napon})^2}{2 \times \text{izlazna snaga (W)}}.$$

Izlazno pojačalo snage u predajnicima radi u klasi C za *telegrafiju*, za *telefoniju frekventnom modulacijom* te, amplitudnom modulacijom ukoliko se modulira sam izlazni stupanj.

Za pojačanje *SSB-signala*, kao i onda kad je amplitudna modulacija izvršena u jednom od *predstupnjeva*, potrebno je tzv. linearno pojačalo. Ono radi redovito u klasi AB.

Glavni cilj je, razumije se, proizvesti *što više snage* na određenoj radnoj frekvenciji i odvesti je u antenski sistem. To se mora postići tako da aktivni element predajnika (cijev ili tranzistor) *ne bude preterećen* i da se *ne emitiraju nepoželjne primjese*.

U svakom slučaju se s nepoželjnim primjesama *mora* računati. U pojačalima klase AB, a još više u pojačalima klase C, nužno dolazi do izobličenja i do pojavljivanja viših harmoničkih frekvencija. *One ne smiju stići do antene!* Prvi filter koji ih smanjuje je titrajni krug na izlazu predajnika. Obično se uzima takav titrajni krug kojemu je Q-faktor opterećenjem smanjen (Q_o) na 10 do 12, najviše 20 (za elektronske cijevi), odnosno 4 do 5 (za tranzistore). Ako bi »*radni Q-faktor*« (Q_o bio premalen), izlazni stupanj ne bi ekonomično radio, teže bi ga bilo pravilno opteretiti, dok bi više harmoničke frekvencije ostale nedovoljno potisnute. Znatno veći Q-faktor bio bi uzrok pojavi prejakih struja u titrajnom krugu i povećanih gubitaka.

Omjer Q-faktora što ga ima titrajni krug dok nije opterećen (Q) i Q-faktora uz opterećenje (Q_o

može poslužiti kao mjera za ekonomičnost rada izlaznog stupnja:

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{Q}{Q_0} \right)$$

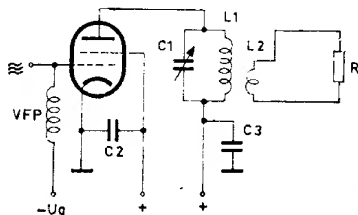
Q-faktor je određen omjerom L/C i opterećenja R_0 s kojim izlazno pojačalo radi.

Izlazni titrajni krugovi i veza s potrošačem

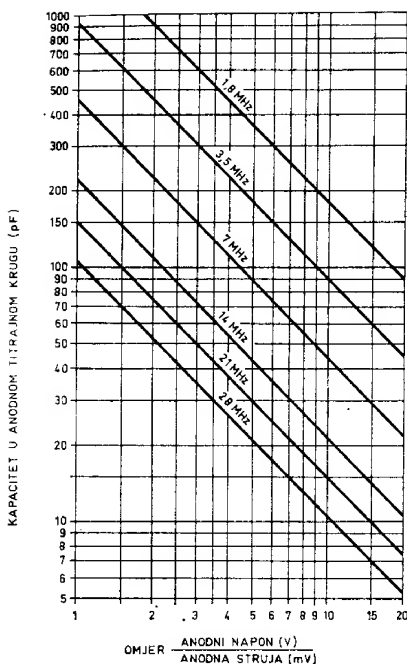
Izlazni stupanj predajnika sa elektronskom cijevi, na sl. 11-35, ima titrajni krug L_1C_1 iz kojega se visokofrekventna struja odvodi preko L_2 , induktivnim putem, u potrošač R . To je kod laboratorijskih ispitivanja *neinduktivni opteretni otpor* («lažna antena»), kod normalnog rada predajnika to je antenski sistem ili ulaz dodatnog, jačeg pojačala snage.

Kakav će Q-faktor titrajnog kruga biti kad ga opteretimo, to ovisi o radnim uvjetima izlaznog stupnja, napose o anodnom naponu (U_a) i o jakosti anodne struje (I_a), uz odgovarajući kapacitet C_1 i induktivitet L_1 . Tu je, dakako, još prisutna i ovisnost o opterećenju, dakle o induktivnoj vezi preko L_2 .

Za različite omjere anodnog napona (u voltima) i anodne struje (u miliamperima) nacrtan je na sl. 11-36 dijagram. Na njemu se može pročitati kolika je vrijednost kapaciteta C_1 potrebna da se postigne Q-faktor $Q_0 = 10$. Induktivitet L_1 odabire se tako da titrajni krug



Sl. 11-35. Izlazni titrajni krug predajnika i odvođenje visokofrekventne energije u potrošač R induktivnim putem



Sl. 11-36. Dijagram za određivanje kapaciteta u izlaznom titrajnom krugu predajnika. Vrijednosti su za Q-faktor od 10

može resonirati na određenu frekvenciju baš s kapacitetom C_1 .

Razumije se da u ovu vrijednost kapaciteta treba, osim samog promjenljivog kondenzatora, uključiti izlazni kapacitet cijevi, ulazni kapacitet slijedeće cijevi ako je ima, kao i sve ostale kapacitete podnožja, samih vodova i slične.

Kao primjer uzmimo da cijev 807 u izlaznom stupnju nekog predajnika radi uz maksimalno dozvoljeno opterećenje (ICAS). Anodni napon neka je 750 V, a anodna struja 100 mA. Omjer anodnog napona (U_a) i anodne struje (I_a) je u ovom slučaju:

$$\frac{U_a (\text{V})}{I_a (\text{mA})} = \frac{750}{100} = 7,5$$

Za ovu vrijednost daje dijagram na sl. 11-36 slijedeće vrijednosti ka-

paciteta C_1 u anodnom titrajnom krugu:

za opseg od 3,5 MHz	120 pF
za opseg od 7 MHz	59 pF
za opseg od 14 MHz	28 pF
za opseg od 21 MHz	20 pF
za opseg od 28 MHz	14 pF

Budući da je izlazni kapacitet ove cijevi 7 pF bit će potrebno da se promjenljivi kondenzator namjesti na vrijednost kapaciteta koja je barem za 7 pF manja od gornjih vrijednosti.

Ako je u nekom slučaju omjer U_a/J_a veći od vrijednosti za koje vrijedi sl. 11-36, postali bi kapaciteti za više frekvencije manji od onih koji se mogu ostvariti u praksi. Tada je neizbježno odabiranje većeg Q -faktora za izlazni titrajni krug. Pri tome treba zapamtiti pravilo da se Q -faktor titrajnog kruga mijenja kao i kapacitet C_1 . Dvostruki Q -faktor postići ćemo udvostručenjem kapaciteta.

Ako su u izlaznom stupnju predajnika dvije ili više paralelno spojenih cijevi, treba u gornjim izrazima uzeti kao J_a ukupnu anodnu struju svih cijevi zajedno.

Dvije cijevi u izlaznom stupnju predajnika mogu biti i u protufaznom («push-pull») spoju. I tada treba kao J_a uzeti ukupnu anodnu struju *obih* cijevi. Tada je u anodnom titrajnom krugu redovito dvostruki kondenzator. Za istu vrijednost Q -faktora treba da je u takvom slučaju kapacitet *svake* sekcije promjenljivog kondenzatora jednak *polovici* vrijednosti koju daje dijagram.

Ovakvo jednostavna induktivna veza s potrošačem, kao na sl. 11-35, može se upotrebljavati uz pretpostavku:

a) da je između L_2 i R pogodan kabel,

b) da anodni titrajni krug ima dovoljno visok Q -faktor (obično 10 do 20),

c) da je induktivitet zavojnice za vezu, L_2 , što bliže svojoj optimalnoj vrijednosti za izabranu frekvenciju

i vrstu kabela. To će biti onda ako je samoindukcija zavojnice L_2 takva da je njena impedancija na radnoj frekvenciji jednaka impedanciji Z_0 kabela.

d) da je induktivna veza između L_1 i L_2 vrlo tijesna.

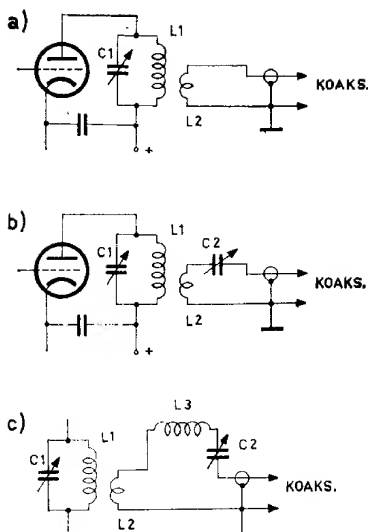
Tačku c) ovih pretpostavki je koji put teško ostvariti, osobito kod viših frekvencija.

Ako je potrošač R daleko od anodnog titrajnog kruga i ako želimo što jače potisnuti više harmoničke frekvencije koje se, osobito u pojačalima klase C, neizbježno stvaraju, najbolje je za vezu između predajnika i potrošača uzeti *oklopljeni koaksijalni kabel* niske impedancije, 50 do 75 Ω . Koaksijalni oklopljeni kabel, ispravno priključen, ne zrači i omogućuje povoljno smještanje dovoda bez opasnosti da bi on mogao imati bilo kakvog neželjenog djelovanja na ostale strujne krugove.

Važno je da se završetak kabela prilagodi potrošaču, osobito ako je dužina kabela znatno veća od upotrebljene dužine vala. Tako se može osigurati da gubici u samom kabelu budu najmanji. Tada, također, dužina kabela nema utjecaja na ugađanje predajnika. Uređaji i načini prilagođavanja antene kao potrošača bit će opisani kasnije.

Tri načina za vezu između anodnog titrajnog kruga predajnika i koaksijalnog kabela vidimo na sl. 11-37. Već smo rekli da je vezu na način koji prikazuje sl. 11-37a u praksi teško ostvariti. Lakše je ako postupimo prema sl. 11-37b. Zavojnica za vezu L_2 može ovdje biti nešto veća nego u predašnjem primjeru. Njena veza sa L_1 može biti manje tijesna. Kondenzatorom C_2 dovodimo zavojnicu L_2 u resonanciju na radnoj frekvenciji. Ovo također osigurava bolju selektivnost na izlazu predajnika i, prema tome, bolje potiskivanje svih neželjenih frekvencija.

Ako je koaksijalni kabel na svom udaljenijem kraju ispravno opterećen, na njemu nema stojnih valova



Sl. 11-37. Priključivanje koaksijalnog kabela na izlazni stupanj predajnika. L_1C_1 = izlazni titrajni krug. Vrijednosti za C_2 daje tablica 11-1

i on se na bližem kraju ponaša kao omski otpornik veličine $R = Z_0$. Taj »otpornik« je uključen u titrajni krug L_2/C_2 i utječe na njegov Q-faktor koji je zbog toga prilično nizak, oko 2. Uz ovu vrijednost Q-faktora može se ostvariti vrlo dobra induktivna veza između L_1 i L_2 .

Vrijednost kapaciteta C_2 daje tablica 11-1. Navedene vrijednosti kapaciteta su najveće dopuštene na određeni opseg. Induktivitet L_2 treba odabrati tako da se sa ovim vrijednostima kapaciteta može postići resonancija.

Ako zavojnica za vezu L_2 u nekom konkretnom slučaju nema dovoljno induktiviteta za postizavanje resonancije u određenom opsegu treba dodati još i zavojnicu L_3 da se to postigne, prema sl. 11-37c.

Ukoliko se u takvom slučaju možda ipak ne bi mogla ostvariti dovoljno čvrsta induktivna veza između L_1 i L_2 koja bi omogućila crpljenje određene VF snage, trebat

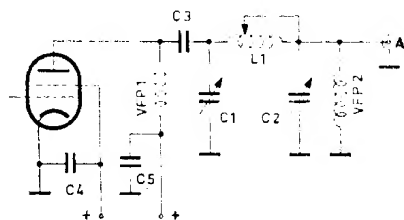
Tablica 11-1. Maksimalne vrijednosti kapaciteta C_2 (sl. 11-37)

Za opseg (MHz)	i za impedanciju kabela od		
	50	60Ω	75Ω
3,5	450 pF	375 pF	300 pF
7	230 pF	190 pF	150 pF
14	115 pF	95 pF	75 pF
21	80 pF	65 pF	50 pF
28	60 pF	50 pF	40 pF

će nešto povećati L_2 i razmjerno smanjiti C_2 .

Amateri rado upotrebljavaju tzv. *Pi-filter* (»Collins«) za priključivanje antene i koaksijalnog kabela. Takav filter vidimo na shemi, sl. 11-38. Anodna struja I_a izlazne cijevi predajnika teče kroz prigušnicu VFP_1 . Pi-filter je kapacitivno vezan preko kondenzatora C_3 (obično oko 1 nF). Promjenljivi kondenzator C_1 i C_2 predstavljaju neku vrstu kapacitivnog razdjelnika koji omogućuje da se kapacitetom C_1 postigne prilagođenje na izlaznu cijev, a kapacitetom C_2 prilagođenje na impedanciju antenskog kabela (kod A). Prigušnica VFP_2 ima jedini zadatak da ostvari galvansku vezu antene i kabela sa uzemljenom šasijom predajnika.

Za zavojnicu L_1 su kondenzatori C_1 i C_2 u seriji. Zavojnica mora sa kapacitetom koji rezultira iz ove serije resonirati na odabranu radnu



Sl. 11-38. Collins-ov PI-filter na izlazu predajnika

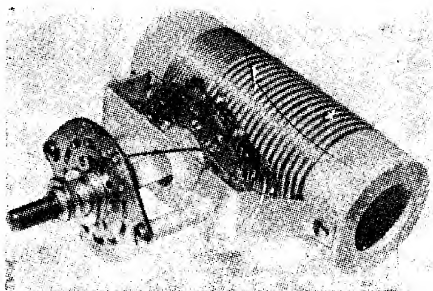
frekvenciju. Njezin se induktivitet obično mijenja tako da se jedan dio njezinih zavoja za rad na višim frekvencijama kratko spaja (sl. 11-39).

Na tablici 11-2 možemo naći približne vrijednosti glavnih sastavnih dijelova takvog Pi-filtera za različite amaterske kratkovalne opsege od 3,5 do 28 MHz, za različite omjere U_a/J_a i za izlaznu impedanciju od 50 Ω .

Ako se, npr. u nekom predajniku INPUT od 120 W postiže uz anodni napon (U_a) od 600 V i jakost anodne struje (J_a) od 200 mA, izračunat ćemo najprije omjer U_a/J_a :

$$\frac{U_a}{J_a} = \frac{600 \text{ V}}{200 \text{ (mA)}} = 3.$$

Za ovu vrijednost čitamo, npr. za 14 MHz, iz tablice 11-2 vrijedno-



Sl. 11-39. Zavojnica Pi-filtera sa preklopnikom koji kratko spaja njene zavoje da se smanji induktivitet pri radu na višim frekvencijama. Takva je upotrebljavana u predajnicima do 100 W snage (»Geloso«)

sti: $C_1 = 90 \text{ pF}$, $L_1 = 1,6 \text{ } \mu\text{H}$ i $C_2 = 530 \text{ pF}$. Za praktičnu realizaciju Pi-filtera za ovaj opseg uzet ćemo

Tablica 11-2. Vrijednosti sastavnih dijelova za Pi-filter (»Collins«)

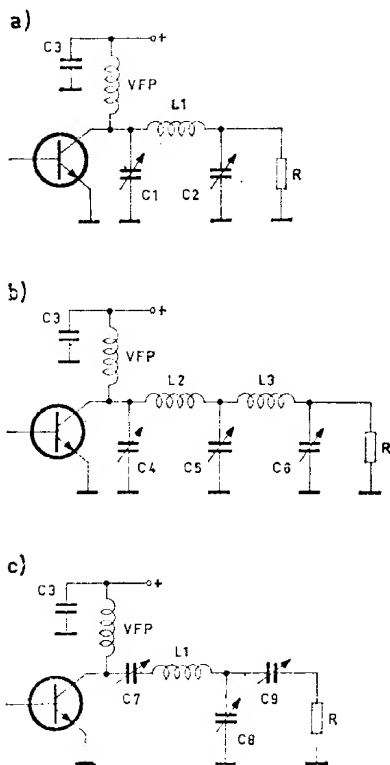
Omjer	$\frac{U_a \text{ (V)}}{J_a \text{ (mA)}}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_1 (pF)*	3,5 MHz	520	360	280	210	180	155	135	120	110
	7	260	180	140	105	90	76	68	60	56
	14	130	90	70	52	45	38	34	30	28
	21	85	60	47	35	31	25	23	20	10
	28	65	45	35	26	23	19	17	15	14
L_1 (μH) **	3,5 MHz	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14	15,5	18	20
	7	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7	7,8	9	10
	14	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1	3,5	3,9	4,5	5
	21	0,73	1,08	1,38	1,7	2,05	2,3	2,6	3	3,3
	28	0,55	0,8	1,05	1,28	1,55	1,7	1,95	2,4	2,5
C_2 (pF) ***	3,5 MHz	2400	2100	1800	1550	1400	1250	1100	1000	900
	7	1200	1060	900	760	700	630	560	500	460
	14	600	530	450	380	350	320	280	250	230
	21	400	350	300	250	230	210	185	165	155
	28	300	260	225	100	175	160	140	125	115

* Navedene vrijednosti su približne i vrijede za Q-faktor 12. Od njih treba oduzeti izlazni kapacitet cijevi.

** Vrijedi za izlaznu impedanciju od 50 Ω . Induktivitet L_1 treba povećati za približno 1,5% ako je izlazna impedancija 60 Ω , odnosno za približno 3% ako je izlazna impedancija 70 do 75 Ω .

*** Vrijedi za izlaznu impedanciju od 50 Ω . Kapacitet C_2 treba smanjiti za 12 do 15% ako je izlazna impedancija 60 Ω , odnosno za 25 do 30% ako je izlazna impedancija 70 do 75 Ω .

za C_1 promjenljivi kondenzator sa 100 do 150 pF maksimalnog kapaciteta, a za C_2 promjenljivi kondenzator sa maksimalnim kapacitetom od najmanje 600 do 700 pF. Prvi treba da bude s većim razmakom među pločicama, dok drugi takvog kapaciteta obično nećemo naći. Zato ćemo se za C_2 poslužiti promjenljivim kapacitetom do 400 ili 500 pF i paralelno s njime staviti fiksni kondenzator od 200 ili 300 pF. Tada ćemo moći dobro ugoditi izlaz predajnika i priključiti ga na koaksijalni kabel od 50 Ω impedancije. Ima li kabel veću impedanciju treba L_1 i C_2 promijeniti kako je napisano uz tablicu 11-2.



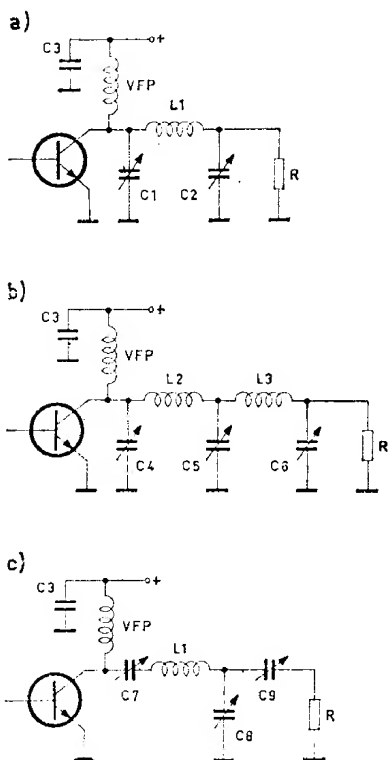
Sl. 11-40. Izlazni filteri tranzistor-skih predajnika: a) jednostruki PI-filter; b) dvostruki PI-filter; c) L-filter

Kod izlaznih stupnjeva *tranzistorskih* predajnika često ćemo naći Pi-filtere i ovima slične. Na sl. 11-40a potrošač R je priključen preko Pi-filtera koji sasvim odgovara onome na sl. 11-38. Budući da se u izlaznim stupnjevima tranzistorskih predajnika javljaju razmjerno mnogo jače više harmonične frekvencije nego kod predajnika s cijevima, izlazni filteri često moraju biti drugačije građeni. Tako dvostruki Pi-filter (sl. 11-40b), osigurava bolje potiskivanje neželjenih frekvencija. Na sl. 11-40c je C_7 u seriji sa izlaznim kapacitetom samog tranzistora. Takav izlazni L-filter može dobro poslužiti ako je izlazni kapacitet tranzistora relativno visok obzirom na radnu frekvenciju predajnika. Promjene kapaciteta C_7 imaju isto djelovanje kao da se mijenja induktivitet L_1 . Pomoću C_9 postiže se potrebna veza s potrošačem R , ali promjene ovog kapaciteta djeluju i na resonanciju. Zato se mora poslije svakog pomicanja kondenzatora C_9 uvijek popravljati vrijednosti C_7 i C_8 .

Ugađanje tranzistorskih izlaznih stupnjeva treba uvijek započinjati kod nižih napona i, bezuvjetno, sa priključenim opterećenjem R . Tek onda, kad smo se uvjerali da stupanj stabilno radi, možemo pomalo povećati pogonski napon popravljajući ugađanje. Isključivanje opterećenja uz veći pogonski napon može upropastiti tranzistor!

Zašto je za tranzistorski predajnik opasno da ostane bez opterećenja? Vratimo se još jednom na sl. 11-34. Tamo je na tablici, u posljednjem redu, prikazano što se događa kad nema potrošača (kad je R beskonačno velik!). Nikakva struja više ne teče. Napon na priključnicama a i b , što ga pokazuje voltmetar V , postao je maksimalno visok! Nešto takvo se događa i u predajniku. Čim »nestane« opterećenje, a pobuda i dalje djeluje, na anodi izlazne cijevi ili na kolektoru izlaznog tranzistora pojavi se vrlo visok napon. Taj napon može biti *neko-*

za C_1 promjenljivi kondenzator sa 100 do 150 pF maksimalnog kapaciteta, a za C_2 promjenljivi kondenzator sa maksimalnim kapacitetom od najmanje 600 do 700 pF. Prvi treba da bude s većim razmakom među pločicama, dok drugi takvog kapaciteta obično nećemo naći. Zato ćemo se za C_2 poslužiti promjenljivim kapacitetom do 400 ili 500 pF i paralelno s njime staviti fiksni kondenzator od 200 ili 300 pF. Tada ćemo moći dobro ugoditi izlaz predajnika i priključiti ga na koaksijalni kabel od 50 Ω impedancije. Ima li kabel veću impedanciju treba L_1 i C_2 promijeniti kako je napisano uz tablicu 11-2.



Sl. 11-40. Izlazni filteri tranzistor-skih predajnika: a) jednostruki PI-filter; b) dvostruki PI-filter; c) L-filter

Kod izlaznih stupnjeva *tranzistor-skih* predajnika često ćemo naći Pi-filtre i ovima slične. Na sl. 11-40a potrošač R je priključen preko Pi-filtera koji sasvim odgovara onome na sl. 11-38. Budući da se u izlaznim stupnjevima tranzistor-skih predajnika javljaju razmjerno mnogo jače više harmonične frekvencije nego kod predajnika s cijevima, izlazni filteri često moraju biti drugačije građeni. Tako dvostruki Pi-filter (sl. 11-40b), osigurava bolje potiskivanje neželjenih frekvencija. Na sl. 11-40c je C_7 u seriji sa izlaznim kapacitetom samog tranzistora. Takav izlazni L-filter može dobro poslužiti ako je izlazni kapacitet tranzistora relativno visok obzirom na radnu frekvenciju predajnika. Promjene kapaciteta C_7 imaju isto djelovanje kao da se mijenja induktivitet L_1 . Pomoću C_7 postiže se potrebna veza s potrošačem R , ali promjene ovog kapaciteta djeluju i na resonanciju. Zato se mora poslije svakog pomicanja kondenzatora C_7 uvijek popravljati vrijednosti C_7 i C_6 .

Ugađanje tranzistor-skih izlaznih stupnjeva treba uvijek započinjati kod nižih napona i, bezuvjetno, sa priključenim opterećenjem R . Tek onda, kad smo se uvjerali da stupanj stabilno radi, možemo pomalo povećati pogonski napon popravljajući ugađanje. Isključivanje opterećenja uz veći pogonski napon može upropastiti tranzistor!

Zašto je za tranzistor-ski predajnik opasno da ostane bez opterećenja? Vratimo se još jednom na sl. 11-34. Tamo je na tablici, u posljednjem redu, prikazano što se događa kad nema potrošača (kad je R beskonačno velik!). Nikakva struja više ne teče. Napon na priključnicama a i b , što ga pokazuje voltmetar V , postao je maksimalno visok! Nešto takvo se događa i u predajniku. Čim »nestane« opterećenje, a pobuda i dalje djeluje, na anodi izlazne cijevi ili na kolektoru izlaznog tranzistora pojavi se vrlo visok napon. Taj napon može biti *neko-*

Uključivanje miliampermetra direktno u anodni strujni krug je moguće samo kod razmjerno slabih predajnika kod kojih anodni napon ne prelazi 250 ili najviše 300 V. To-liko može izdržati i unutrašnja izolacija samog instrumenta. Kod viših anodnih napona postoji opasnost proboja te izolacije. U takvom slučaju nije ugrožen samo mjerni instrument već bi i operator mogao stradati od električnog udarca. Zato moraju svi miliampermetri koji su uključeni u vodove visokog napona biti dobro izolirani od uzemljenih metalnih dijelova. Njih treba montirati na pločicu od dobrog izolatora tako da se kućište instrumenta ne dotiče ničega što je u vezi sa šasijom ili sa metalnom prednjom pločom. Ispred instrumenta mora doći prozor, prekriven staklom ili pleksi-glasom, kroz koji se može gledati na skalu.

Izoliranje miliampermetra je moguće izbjeći samo tako da ga ne uključimo u anodni strujni krug već, radije, u strujni krug katode (J_k) gdje ostaje na niskom potencijalu, jednim svojim polom priključen na šasiju! Na tome mjestu je dakako moguće mjeriti samo ukupnu struju koja teče preko katode cijevi. To je u većini slučajeva dovoljno, osobito onda ako se na neki način može kontrolirati i izlazni visokofrekventni napon predajnika.

Često se jednim mjernim instrumentom nastoji kontrolirati više strujnih krugova. Tada se u te strujne krugove stavlja samo otpornik pogodne veličine (npr. između 10 i 100 Ω), a mjerni instrument se posebnim preklopnikom spaja na krajeve pojedinoga od njih. Otklon kazaljke je tada ovisan o padu napona na tome otporniku, dakle i o jakosti struje koja kroz njega teče.

Sva mjerenja u predajnicima koji rade sa cijevima, uz prilično visoke napone, treba izvršiti s maksimalnim oprezom. *Električni udarac može biti smrtonosan!*

Takve opasnosti kod tranzistor-skih predajnika nema, pa se mjerenja mogu obaviti bez opasnosti.

SMJERNICE ZA IZBOR NEKIH SASTAVNIH DIJELOVA

Kondenzatori

Na svakom fiksnom kondenzatoru je napisana ili nizom boja označena vrijednost kapaciteta i tolerancija, tj. velicina dopuštenog odstupanja od te vrijednosti. Osim toga je potrebno, osobito pri gradnji predajnika, poznavati tzv. *ispitni i radni napon*. Prvi je obično 3 do 5 puta veći od drugoga. Ispitni napon je onaj kojim je određeni tip kondenzatora bio ispitan u tvornici i tim naponom ne treba *nikada* opterećivati nijedan kondenzator. Dobar kondenzator u redovitom radu podnosi kroz dugo vremena napon koji ne prelazi vrijednost *radnog napona*. Uvijek je bolje da kondenzator bude priključen na niži napon od ovoga. To nikada ne može škoditi.

Za sve kondenzatore koji se nalaze u izlaznim titrajnim krugovima predajnika treba zapamtiti da su oni izloženi *većim* naponima od anodnog. Maksimalna vrijednost koju dosegne *visokofrekventni* napon na anodi nekog snažnog pojačala u klasi C iznosi blizu dvostruke vrijednosti anodnog napona. Uz istosmjerni anodni napon od, npr. 500 V to iznosi blizu 1000 V! Ako je takvo pojačalo klase C još i anodno modulirano, bit će maksimalna vrijednost napona na anodi skoro četverostruka. Istosmjerni anodni napon 500 V je dovoljan da se na anodi pojave maksimalne vrijednosti visokofrekventnog napona od blizu 2000 V.

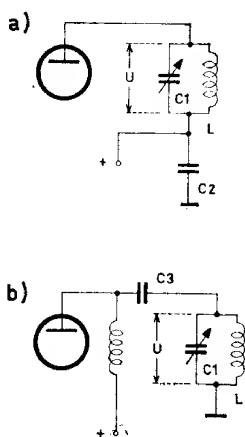
Na sl. 11-42a je tzv. *serijski* način uključivanja izlaznog titrajnog kruga, a na sl. 11-42b *paralelni* način. Ni u jednom ni u drugom slučaju nije promjenljivi kondenzator opterećen istosmjernim anodnim naponom. Između njegovih ploča se pojavljuje, ako nema amplitudne modulacije, samo visokofrekventni napon kojemu je maksimalna (vršna) vrijednost približno jednaka veličini anodnog istosmjernog

napona U . Na samoj anodi cijevi napon dostiže vrijednost $2U$, ali na promjenljivi kondenzator C_1 otpada samo U . Jednako velik napon mora izdržati kondenzator C_2 , odnosno C_3 . Prednost se redovito daje shemi na sl. 11-42b jer rotor promjenljivog kondenzatora može biti direktno uzemljen.

Kod 100-procentne anodne modulacije mora se računati s time da će sve navedene vrijednosti biti dva puta veće od označenih.

Promjenljivi kondenzatori koji služe u predajnicima redovito podnose to veći napon što je razmak između njihovih statoskih i rotor-skih ploča veći. Taj razmak neka ne bude manji od približno 0,25 mm za svakih 100 V naponskog opterećenja. Jedino izlazni kondenzator u Collins filteru može imati do 5 puta manji razmak među pločama.

Također nije svejedno kakva je izolacija. Promjenljivi kondenzatori sa izolacijom od pertinaksa ili plastike ne valjaju! U predajnicima je najbolje upotrebiti promjenljive kondenzatore koji imaju dobru keramičku izolaciju.



Sl. 11-42. Primjeri sa oznakom naponskog opterećenja promjenljivog kondenzatora u izlaznom titrajnom krugu predajnika. Objašnjenje u tekstu

U tranzistorskim predajnicima nema tako velikih naponskih opterećenja na kondenzatorima. Zato je izbor manje kritičan u tome pogledu. Ipak, moraju biti kvalitetni.

Zavojnice

Način gradnje i materijal zavojnica za predajnike ovisi o tome u kojem će titrajnom krugu one služiti. U oscilatorskim stupnjevima je glavni zahtjev da zavojnica bude mehanički čvrsta i električki kvalitetna. Te su zavojnice redovito predimenzionirane, veće su nego što bi trebalo za opterećenje kojemu su izložene. U ostalim, umnoživačkim i pobudnim stupnjevima, opterećenje zavojnice nije također veliko, pa je te zavojnice razmjerno lako načiniti. Zavojnice u izlaznim stupnjevima su najjače opterećene, pa njihovoj izradi treba posvetiti posebnu pažnju.

U svakom slučaju zavojnica izlaznog titrajnog kruga mora imati propisani induktivitet. Njezin promjer i debljina žice treba da budu veći za jače predajnike, prema tablici 11-3. Zavoje je dobro namotati s međusobnim razmakom koji neka bude otprilike jednak debljini žice, na keramičkom valjku ili, kod viših frekvencija, slobodno, bez tijela.

Zavojnice svih titrajnih krugova osobito izlaznog, treba montirati na čvrste, po mogućnosti keramičke nosače. Udaljenost od okolnih metalnih dijelova neka ne bude manja od promjera same zavojnice.

Udaljenost zavojnice od promjenljivog kondenzatora ne mora biti, osim kod zavojnica za 21 i 28 MHz, malena. Dopusštena je dužina priključnih žica i do 10 ili čak 20 cm za 3,5 MHz.

Zavojnicu ne valja postaviti tako da se u njezinom magnetskom polju nalazi promjenljivi kondenzator. Najbolje je da ona stoji tako da joj je os paralelna sa osovinom za okretanje kondenzatora. Pri tome može zavojnica biti ili pokraj ili iznad njega.

Tablica 11-3. Debljina žica za zavojnice u predajnicima

Snaga (INPUT) (W)	Opseg (MHz)	Žica ne tanja od (mm)
1000	3,5	2,5
	7 i 14	3
	21 i 28	4
500	3,5	1,5
	7 i 14	2
	21 i 28	3
150	3,5	1
	7 i 14	1,5
	21 i 28	2
75	3,5	0,7
	7 i 14	1
	21 i 28	1,5
25 i manje*)	3,5	0,3
	7 i 14	0,5
	21 i 28	1

*) Kod snaga koje su manje od 25 W ne bi trebalo da zavojnice budu namotane s tanjom žicom jer bi se smanjio Q-faktor. Isto vrijedi za oscilatorske, umnoživačke i pobudne stupnjeve predajnika.

Danas se sve više u tranzistor-skim predajnicima upotrebljavaju zavojnice, motane na prstenastim jezgrama (tzv. toroidima). Takve zavojnice nisu više rijetkost ni u predajnicima s cijevima! — Podatke o nekim jezgrama ove vrste možemo naći na kraju knjige, među tabelama (str. 784).

Visokofrekventne prigušnice

Visokofrekventne prigušnice koje služe u predajnicima mogu biti izrađene kao jednoslojne ili unakrsno motane zavojnice. Pri tome može jednoslojna zavojnica biti namotana u nekoliko odijeljenih dijelova. Unakrsno motana prigušnica

može se sastojati iz više pojedinačnih, u seriju spojenih zavojnica.

Induktivitet prigušnice mora biti dovoljno velik da njeno djelovanje i na najnižim frekvencijama bude zadovoljavajuće. Pri tome njezin vlastiti kapacitet ne smije biti velik, jer bi kod najviših frekvencija predstavljao djelomičan odvod visokofrekventnih struja. Za rad na svih pet amaterskih kratkovalnih opsega, od 3,5 do 28 MHz obično se uzima prigušnica sa induktivitetom od 2,5 mH. Žica kojom je namotana treba da bez većeg zagrijavanja izdrži potrebnu jakost struje.

Kod montaže visokofrekventnih prigušnica u predajniku treba paziti na to da ih ne stavimo preblizu metalnim dijelovima. Tada bi im kapacitet porastao i gubici se povećali.

Svaka prigušnica ima svoje resonantne frekvencije. Da izmjerimo njezine paralelne resonancije, treba jedan kraj prigušnice uzemljiti, a drugi ostaviti slobodan. Resonancije koje nam pokaže dobar »grid-dip-metar« (GDM) primaknut uzemljenom kraju su na onim frekvencijama kod kojih će visokofrekventni gubici biti najmanji.

Ponovimo li takvo mjerenje pošto smo prethodno kratkom žicom međusobno spojili početak i kraj prigušnice, GDM će pokazati serijske resonancije. Kod ovih će gubici biti najveći. Ove serijske resonancije ne bi smjele da budu ni u jednom od opsega na kojima želimo da predajnik radi.

Visokofrekventne prigušnice u tranzistorским predajnicima redovito su namotane na feritnim jezgricama različitog oblika. Njihov induktivitet je obično niži, zbog općenito manjih impedancija u tranzistorским stupnjevima. Dosta je da impedancija prigušnice bude 4 do 5 puta veća od impedancije drugih zavojnica istoga stupnja.

RADIO-TELEGRAFIJA

Telegrafski signal kojima se služimo za uspostavljanje radio-veza su sastavljeni od »tačkica« i »crtica«, ili tačnije, od kraćih (»tit«) i dužih zvukova (»ta«). Od njih su sastavljena tzv. Morse-ova slova, brojevi i drugi znakovi.

Za emisiju telegrafije služe znakovi tipa A1 i A2.

Prvi tip znakova se postizava tako da se neprigušeni električni titraji (CW) koje proizvodi neki predajnik uključuju i prekidaju pomoću posebnog telegrafskog tipkala (ključa, tastera) u ritmu Morse-ovih znakova. Na taj će način predajnik emitirati isprekidane elektromagnetske valove (ICW). Kad ovi dođu do udaljenog prijemnika, interferirat će s oscilacijama lokalnog oscilatora (audion ili BFO kod supera) i operator će čuti isprekidani ton. Visinu tona može operator po volji odabrati promjenom frekvencije svog lokalnog oscilatora.

Emisija telegrafskih znakova tipa A2 postiže se slično kao i telefonija. Umjesto glasovima govora predajnik se modulira tonom pogodne visine (400 do 1000 Hz). Taj je ton isprekidan u telegrafskom ritmu. Takva »modulirana telegrafija« (MCW) se ranije mnogo upotrebljavala, osobito kod komunikacija na višim frekvencijama za koje prijašnji prijemnici nisu bili dovoljno stabilni. Prijemnik ne treba nikakvih lokalnih oscilacija a telegrafski se znakovi čuju sa onom visinom tona koja je bila emitirana.

Za telegrafiju tipa A2 potreban je znatno širi pojas frekvencija nego za telegrafiju tipa A1. Zato i sam prijemnik za signale tipa A1 može biti mnogo selektivniji pa se lakše postiže povoljniji odnos signal/šum. Ovo, uz ostalo, omogućuje i znatno veći domet signala (DX).

Danas, kad se i amateri služe SSB-telefonijom, kada u komercijalnoj telekomunikacijskoj tehnici postoje teleprinteri i višestruke te-

lefonijske veze, u doba televizije i telekomandi, mogao bi netko pomisliti da je vrijeme »dobre stare telegrafije« prošlo. To, unatoč svega napretka, nije tako! Činjenica je da baš onda, kada otkažu sve druge vrste veza, telegrafija redovito još uvijek »ide«.

Za telegrafske veze na kratkovalnim amaterskim područjima treba se služiti isključivo znakovima tipa A1.

Morse-ovi telegrafski znakovi

Izumitelji žičanog elektromagnetskog telegrafa Morse bio je odmah u početku prisiljen da za rad sa svojim telegrafom pronađe kako da se upotrebom kraćih i dužih znakova (tačaka i crtica) prenesu pojedina slova. Njemu je to i uspjelo, pa u današnjem telegrafskom alfabetu ima mnogo slova koja su ostala nepromijenjena. Na tablici 11-4 prikazani su najvažniji znakovi Morse-ovog internacionalnog telegrafskog alfabeta.

Koliko god bila velika brzina telegrafiranja, ipak moraju biti ispunjeni ovi zahtjevi:

a) crtica traje jednako kao tri tačke;

b) razmak između dvije tačke ili između dvije crtice, odnosno između tačke i crtice u istom slovu traje kao jedna tačka;

c) razmak između dva slova u jednoj riječi traje kao tri tačke;

d) razmak između dvije riječi traje kao pet tačaka.



Sl. 11-43. Primjer pravilnih telegrafskih znakova: Teslino ime u Morse-ovom »pismu«

Tablica 11-4. Morse-ovi telegrafski znakovi

INTERNACIONALNI ALFABET		
a = .-.-	j = .-.-.-	s = .-. .
b = -.-.-.	k = -.-.-	t = -.-
c = -.-.-.	l = -.-.-.	u = .-. -
d = -.-.-	m = -.-.-	v = -.-.-.-
e = -.-	n = -.-.-	w = -.-.-.-
f = -.-.-.	o = -.-.-.-	x = -.-.-.-
g = -.-.-.	p = -.-.-.-	y = -.-.-.-.-
h = -.-.-.	q = -.-.-.-	z = -.-.-.-.
i = .-. .	r = -.-.-.	

NAŠA SLOVA	STRANA SLOVA
ć = -.-.-.-.	ä = -.-.-.-
č = -.-.-.-.	à ili â = -.-.-.-.
đ = -.-.-.-.	ch = -.-.-.-.-
dž = -.-.-.-.	è ili é = -.-.-.-.
lj = -.-.-.-.	ê = -.-.-.-.
nj = -.-.-.-.-	ñ = -.-.-.-.-
š = -.-.-.-.-	ö = -.-.-.-.
ž = -.-.-.-.-	ü = -.-.-.-

BROJEVI		
1 = .-.-.-.-	4 = -.-.-.-	7 = -.-.-.-.
2 = -.-.-.-	5 = -.-.-.-	8 = -.-.-.-.
3 = -.-.-.-	6 = -.-.-.-	9 = -.-.-.-
0 = -.-.-.- ili -.-.-.-		

INTERPUNKCIJE I UPOZORENJA	
Tačka (.) = -.-.-.-.-	Završetak poruke ili znak »plus« (+) = -.-.-.-.
Zarez (,) = -.-.-.-.-	Razlomkova crta (/) = -.-.-.-.
Tačka-zarez (;) = -.-.-.-.-	Rastavnicu ili znak »jednakosti« (=) = -.-.-.-.
Dvije tačke (:) = -.-.-.-.-	Pazi, početak = -.-.-.-.
Upitnik (?) = -.-.-.-.-	Razumio sam = -.-.-.-.
Navodnik (») = -.-.-.-.-	Čekaj = -.-.-.-.
Zagrada () = -.-.-.-.-	Gotovo, završetak
Apostrof (') = -.-.-.-.-	svega (SK) = -.-.-.-.
Sastavnica ili znak »minus« (-) = -.-.-.-.-	Možeš započeti, dođi = -.-.-.
Pogreška = -.-.-.-.-	

Ova pravila ilustrira sl. 11-43 na kojoj vidimo prezime našeg velikog zemljaka Tesle, ispisano telegrafskim znakovima.

Ako želimo naučiti telegrafske znakove, bit će najbolje da se poslužimo nekom zujalicom. Najbolje se uči u grupi. Jedan tipka, a drugi slušajući primaju i bilježe. Pojedina slova telegrafskog alfabeta ne valja upamtiti kao »tri tačke« ili »tačka crta dvije tačke«. To bi bilo posve pogrešno!

Učeći telegrafiju, moramo zapamtiti *zvučnu sliku* pojedinog znaka. Dok slušamo telegrafske znakove, onda nema ni tačaka ni crta. Tu su samo zvukovi. Duži zvukovi se čuju kao »taa«, a kratki zvukovi kao »tit«. Mi ćemo, dakle, slovo *s* čuti i zapamtiti kao »tittitit«, slovo *l* kao »titaatitit«, a slovo *a* kao »titaa«. Možemo uzeti bilo kakav tekst, knjigu ili novine, pa sami sebi ovako naglas govoriti za svako slovo redom. Kad smo naučili sva slova, a to je možda u međuvremenu uspjelo i kojemu od naših drugova, možemo pokušati pomoću zujalice i telegrafskog tipkala jedan drugome polagano tipkati pojedina slova.

Učenje ćemo započeti polaganim tempom. Taj polagani tempo ne smije možda biti takav da nam slovo *v* zvuči kao »tiiiit tiiiit tiiiit taaaaaaa«. Ne! Pojedina slova treba odmah tipkati onako kako odgovara tempu od kojih 20 do 30 slova u minuti. Među pojedinim slovima ostavit ćemo u početku veće razmake i tako usporiti tempo. Slovo *v* mora se, dakle, čuti kao »tit tit tit taaa«.

Postepeno sa sve većom brzinom primanja, moći ćemo i brže tipkati, pa će uz življi tempo i slova primati drukčiju zvučnu sliku. Kod tempa oko 50 slova u minuti čuje se slovo *v* kao »tittititaa«, dok kod brzina od preko 100 slova u minuti ono prelazi u »tra«.

Kako čujemo koje »slovo« odmah ga napišemo. Važno je da se

odmah u početku vježbamo u jasnom pisanju pojedinih slova. Ne bi se smjelo dopoditi da u vlastitom rukopisu ne razlikujemo slova *e*, *l* i *b*. I ostala slova moraju biti jasno i čitljivo napisana i u najvećoj brzini. Slova *u*, *n* i *v* moramo u svom rukopisu jednako dobro razlikovati kao i slova *k* i *h*; *v* i *y*; *g*, *p* i *q* i tako redom.

Kod prijema na sluh ne valja ništa misliti. Svako slovo treba mehanički napisati na papir onim redoslijedom kojim je bilo otipkano. Ne valja unaprijed pogađati koju ćemo riječ primiti. Ako budemo tako radili, onda je najvjerojatnije da riječ nećemo ispravno primiti. Ako nam je pri tome koje slovo izbjeglo, ne žalimo za njim! Pišimo slijedeća slova. Ako se nastojimo sjetiti kako je zvučalo neko slovo koje nismo primili, pobjeći će nam još niz slijedećih slova. Nije dobro, također, napisati slovo za koje nismo posve sigurni. Bolje je da neko slovo nedostaje, nego da zapišemo pogrešno slovo.

Podjednako treba uvježbati primanje na sluh *svih* slova *internacionalnog* alfabeta. Naša i strana slova kojih u internacionalnom alfabetu nema vrlo se rijetko upotrebljavaju. Najčešće se slovo *č* tipka kao *c*, *ž* kao *z*, *lj* kao *l ij*, *đ*, kao *dj*, *dž*, kao *d i ž*. Od stranih slova se *ö*, *ü*, *ä* tipkaju kao *oe*, *ue*, *ae*, a *ch* kao *c i h*.

Tako se radi i kod pošte jer automati za brzo tipkanje telegrafije nemaju posebnih slova. U vojsci se također ne služe našim posebnim slovima, kojih nema u internacionalnom alfabetu. Upotrebom tih slova odmah bi se otkrilo čija je neka vojna radio-stanica, a to se mora izbeći.

Od brojaka se nula mora pisati kao prekriveni *O*, tj. *Ø*, za razliku od slova *O*.

Od interpunkcija se najviše upotrebljava upitnik. »Tačku« često zamjenjuje riječ »stop«. Od ostalih znakova često služe: znak završetka poruke, razlomkova crta, rastavni-

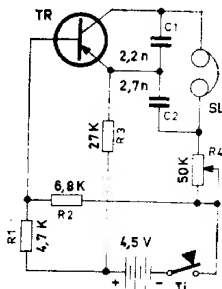
ca, znak za početak, znak razurnio sam, čekaj, svršetak svega, dođi i znak pogreške. Prilikom pomorskih katastrofa poziva se znakom »SOS«.

Ne zaboravimo: česte i kratke vježbe mnogo su vrijednije od dugackih i rijetkih!

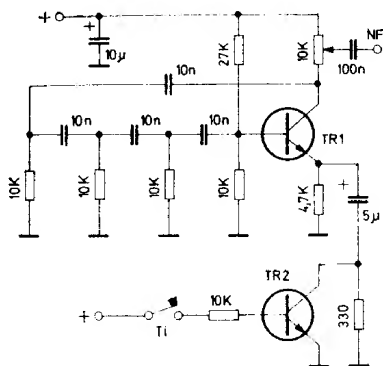
Na sl. 11-44 je shema jednostavne zujalice za učenje telegrafije. Slušalice *SL* i kondenzatori C_1 i C_2 čine titrajni krug kojim je određena frekvencija. Isti kondenzatori služe ujedno kao kapacitivni razdjelnik Colpitts-ovog niskofrekventnog oscilatora sa tranzistorom *TR*. To može biti bilo koji germanijev ili silicijev tranzistor P-N-P tipa. Razumije se da može jednako dobro poslužiti i neki silicijev N-P-N tranzistor, ali onda treba okrenuti polaritet izvora struje. Gdje je sada nacrtan pozitivan pol treba doći negativni, gdje je negativni treba doći pozitivni pol baterije.

Potencijetrom R_1 može se u nekim granicama regulirati glasnoća i visina tona. Shema je nacrtana prema podacima tvornice »Philips« i bila je već nebrojeno puta iskušana.

Za učenje telegrafije u većim grupama mogu se Morse-ovi znakovi slušati i preko zvučnika. Za ovu svrhu pogodna je zujalica koja je shematski prikazana na sl. 11-45. Tranzistor *TR₁* s pripadajućom RC-mrežom za pomicanje faze (kondenzatori po 10 nF i otpornici po



Sl. 11-44. Shema jednostavne zujalice za učenje telegrafije. Opis u tekstu



Sl. 11-45. Zujalica za učenje telegrafije koja se može priključiti na neko niskofrekventno pojačalo da se zvukovi slušaju preko zvučnika. *TR₁* je u oscilatoru s RC-mrežom za okretanje faze. *TR₂* je tranzistor preko kojega se prekida rad oscilatora (*Ti* = telegrafsko tipkalo)

10 kΩ) predstavlja oscilator zvučne frekvencije. On može oscilirati samo onda kad je emitorski otpornik (4,7 kΩ) premošten elektrolitskim kondenzatorom (5 μF). To će se dogoditi tek onda, kad pritisnemo tipkalo *Ti* i kada provede tranzistor *TR₂* struju. Njegov je otpor u tom slučaju nizak pa izlazi kao da je negativni pol elektrolitskog kondenzatora uzemljen. Niskofrekventne oscilacije mogu se od priključnice *NF* odvesti u niskofrekventno pojačalo. Glasnoća se regulira logaritmičkim potencijetrom, spojenim u kolektorski strujni krug tranzistora *TR₁*. Pogonski napon je između 6 i 9 V. On mora biti tolik da oscilator još ne radi, ako nije prisutno tipkalo. Kod *NF* se priključuje neko pojačalo.

Uključivanje telegrafskog tipkala u predajnik

Za emisiju dobrih telegrafskih znakova traži se ispravno i ritmičko »kucanje«, ali to nije sve. Ako kod pritiska na tipkalo predajnik emitira signal kod kojega amplitu-

da odmah od »nule« skoči na »maksimum«, pojavit će se niz bočnih frekvencija. Njih će se moći čuti i onim prijemnicima koji nisu ugođeni tačno na frekvenciju takvog predajnika, već i po više kiloherca »gore« ili »dolje« od nje. Svaki puta kad se pritisne na tipkalo čuje se na širokom dijelu skale prijemnika onaj poznat »klik« koji smeta prijemu ostalih signala. Slično se događa i onda ako se kod otpuštanja tipkala amplituda signala naglo smanji. Zato je potrebno da telegrafski signali budu »oblikovani« tako da amplituda emitiranih valova za svaki »tit« ili »ta« postepenije raste i pada. Ovime se, dakako, ne smije pretjerati da ne trpi razumljivost znakova kod prijema na sluh.

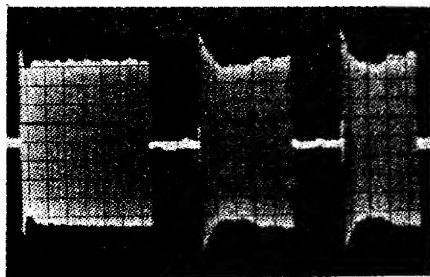
Također treba spriječiti mijenjanje frekvencije. Ako se frekvencija za vrijeme emisije telegrafskih znakova vrlo polagano mijenja, ako »puzi« minutama, kažemo da predajnik ima »drift« frekvencije. Brzu promjenu frekvencije koju opažamo kod svakog »tit« ili »ta« nazivamo »čirp«, »pijukanje« ili »cvrkutanje« signala. Do »čirpanja« dolazi redovito zbog naglih promjena istosmjernih napona u predajniku, osobito kod oscilatora, kao posljedica promjenljivog opterećenja i nedovoljne stabilizacije. Uz »čirpove« se često može opaziti istovremeni »drift« kao posljedica zagrijavanja predajnika za vrijeme emisije i njegovog hlađenja u pauzama.

Kada je tipkalo otpušteno predajnik ne bi smio da emitira nimalo visokofrekventne energije. Ako tome nije tako, u prijemnicima će se između pojedinih znakova čuti neki, jači ili slabiji, ton koji otežava prijem na sluh i zamara operatora. Tu pojavu amaterskim »jezikom« nazivamo »spejser« (*spacer, spacing Wave*) i treba je svakako izbjeći. Poneki radio-amater, slušajući u istoj prostoriji svoj vlastiti signal pomisli, kad ovo čuje, da će isto čuti i udaljeni amateri. Tome ne mora biti tako! Najbolje je da vla-

stite signale ispitamo uz pomoć nekog drugog amatera koji je od nas udaljen barem 2 do 3 kilometra. Oko on ne čuje »spejser« uz jakost signala koja će biti, recimo, S9+, možemo biti sigurni da ga ni drugi neće moći čuti kad u većim udaljenostima bude signal slabiji. Eventualni »spejser« mora biti, u odnosu na emitirani signal, potisnut za barem 40 dB ili više.

Telegrafski signal, koji nema obzirom na emitiranu frekvenciju nedostataka, može ipak na oscilogramu imati izgled kao na sl. 11-46. Početak svakog »tit« ima neki vrh koji je viši od ostalih amplituda. To se javlja onda, kad izvor napajanja strujom ima napon koji je »mekan«. Takav napon naglo pada čim se pogonski ispravljač optereti. Iza tog vrha na oscilogramu se vidi smanjenje amplitude signala. Malo poslije nekog minimuma amplituda ponovo malo naraste. Napon ispravljača iz kojega se napaja izlazni stupanj predajnika »oporavlja se« ubrzo poslije početnog pada i onda se održava toliko konstantnim da amplituda telegrafskog signala ostaje podjednaka. Zvuk takvog signala je »bez »čirpova«, može biti i bez »drifta« i »spejsera«, ali se čuju »kliksovi«.

Da se takve pojave spriječe mora pogonski napon biti »tvrd«, tj. bez većih promjena pri opterećenju. Osim toga treba onemogućiti pre-nagle skokove amplitude VF signala od kojih se sastoje pojedini dijelovi



Sl. 11-46. Oscilogram telegrafskih znakova s nedostacima. Vidi tekst

telegrafskih znakova. Na sl. 11-47a signal se pojavljuje odmah sa svojom punom amplitudom. Za takve kažemo da su »tvrđi«. Oni također mogu biti povod stvaranju kliksova u prijemnicima.

Pravilno oblikovani oscilogram telegrafske »tačke« vidimo na sl. 11-47b. Amplituda eksponencijalno raste na početku, zatim ima konstantnu vrijednost da na kraju eksponencijalno opadne na nulu. Tu nema nikakvih nezgodnih pojava ni kod velikih snaga emitiranih telegrafskih znakova. Znakovi su na skali prijemnika »uski«, čuju se samo na »svome mjestu«, bez ikakvih pojava na drugim frekvencijama u istom valnom području. »Tvrđi« signali dozvoljeni su samo kod rada sa vrlo malim snagama (ORP, do 5 W). Tako slab signal redovito ne

smeta nikome, dok mu je »prisutnost« naglašenija i na većim udaljenostima (DX).

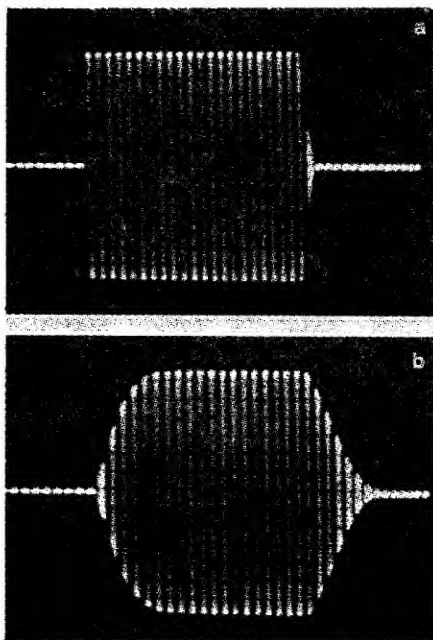
Kamo priključiti telegrafsko tipkalo? To je moguće na više načina, ali uvijek se tipkalom uključuje ili isključuje neki pogonski napon. Koji i gdje, ovisi o vrsti predajnika, o visini naponu i o snazi predajnika. Nekoliko primjera će to pokazati.

Kod cijevnih predajnika kojima snaga (INPUT) ne prelazi 50 do 75 W telegrafsko tipkalo uključuje se u katodni strujni krug jedne ili više cijevi, u strujni krug jedne ili više zaštitnih mrežica, a kod sasvim slabih i tranzistorskih predajnika u dovod struje iz izvora napajanja električnom energijom.

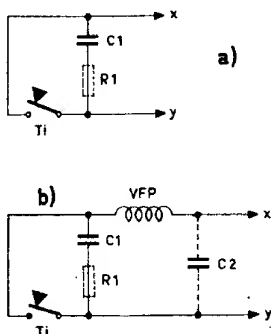
Kod prekidanja bilo kojeg strujnog kruga mogu nastati, u ovisnosti o jakosti struje i o visini naponu, jače ili slabije iskre. To se opaža i na telegrafskom tipkalu. Svaka takva iskra čuje se u *blizom* prijemniku kao kratkotrajan prasak ili »klik«. Iako redovito *nema* utjecaja na kvalitetu emitiranih signala, treba iskre na tipkalu prigušiti. One oštećuju samo tipkalo a osim toga mogu operatora navesti na zaključak da i signali imaju »kliksove«, što ne mora da bude. Najjednostavniji filter za prigušivanje iskara na tipkalu može se, prema sl. 11-48a, sastojati od kondenzatora C_1 kojemu je kapacitet između 1 i 10 nF. Treba odabrati takav kapacitet kondenzatora da se na kontaktu tipkala ne vidi i u prijemniku ne čuje iskra kod *prekida* struje.

Nastaje li iskra i kod *spajanja* struje treba u seriji s kondenzatorom dodati otpornik R_1 . On će obično trebati da ima 10 do 100 Ω . Prevelika vrijednost otpora na ovome mjestu može onemogućiti potiskivanje iskara kod prekidanja. U svakom konkretnom slučaju treba pokusom odrediti najbolju vrijednost za C_1 i R_1 .

Ukoliko bi to bilo nedovoljno, osobito kod dužih vodova od pre-



Sl. 11-47. a) telegrafski znak se prebrzo pojavljuje i prebrzo nestaje. On je »tvrđi« i prate ga »kliksovi«; b) idealan oscilogram telegrafskog znaka. Vidi tekst



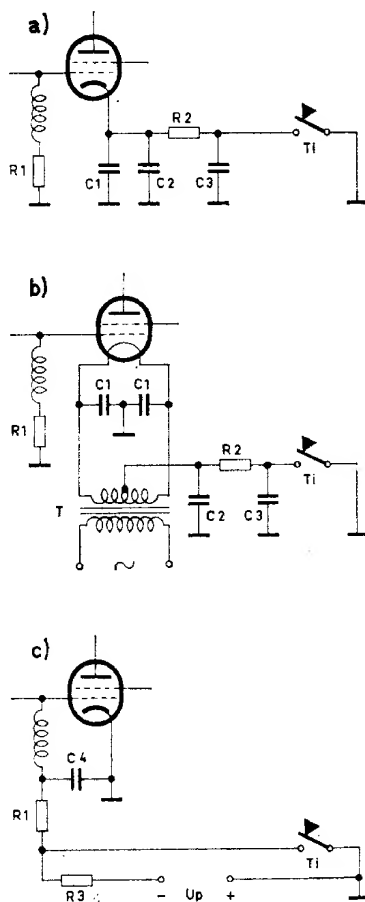
Sl. 11-48. Prigušivanja iskara na telegrafskom tipkalu. $C_1 = 1$ do 10 nF, $R = 10$ do 100 Ω ; VFP = visokofrekventna prigušnica, $0,5$ do $2,5$ mH, sposobna da izdrži onu jačost struje koja kroz nju teče ($C_2 =$ prema potrebi)

dajnika do tipkala, može se za bolji filterski učinak dodati i visokofrekventna prigušnica (VFP) prema sl. 11-48b. Njezin induktivitet neka bude između $0,5$ i $2,5$ mH. Osim toga ona mora biti načinjena iz žice koja je dovoljno debela da može bez osobitog zagrijavanja podnijeti potrebno strujno opterećenje. Ako se prekida katodni strujni krug onda otpor prigušnice mora biti toliko malen da se zbog njezine prisutnosti ne bi radni prednapon cijevi znatnije promijenio. Na ovo treba misliti i, prema potrebi, popraviti prednapon. Ponekad će biti potrebno dodati i C_2 iza prigušnice. Osim toga će za uklanjanje ove vrste smetnja biti dobro da je tipkalo priključeno oklopljenom žicom ili komadom savitljivog koaksijalnog kabela.

U predajnicima se upotrebljavaju i elektronske cijevi koje imaju direktno grijanu katodu. Takve su osobito pogodne za različite prenosne i prevozne radio-uređaje kod kojih se u svrhu štednje električnom energijom za vrijeme primanja prekida i struja grijanja u predajniku. Kod prelaza sa primanja na davanje direktno grijana katoda vrlo brzo postigne potrebnu temperaturu

i predajnik je odmah sposoban za rad. Indirektno grijane katode imaju razmjerno predugo vrijeme zagrijavanja i zato moraju biti trajno užarene. Na sl. 11-49a i b vidimo glavne razlike između uključivanja telegrafskog tipkala u strujni krug indirektno i direktno grijane cijevi.

U oba primjera kondenzator C_1 služi za visokofrekventno uzemljenje katode. Paralelno ovome je



Sl. 11-49. Uključivanje telegrafskog tipkala: a) u katodni strujni krug indirektno grijane cijevi; b) u katodni strujni krug direktno grijane cijevi; c) sa »blokiranjem« prve mrežice

stavljen C_2 koji ima veći kapacitet i koji služi, zajedno sa otpornikom R_2 , za već ranije spomenuto oblikovanje signala. Povećanjem kapaciteta kondenzatora C_2 ublažuje se opadanje jakosti signala na kraju, a povećanjem vrijednosti otpornika R_2 usporava se porast jakosti signala na početku svakog »tit« ili »ta«.

Kapacitet C_2 će obično imati vrijednost između 0,5 i 10 μF , ovisno o vrsti cijevi i radnim uvjetima. Taj kondenzator se, za vrijeme dok je tipkalo T_i otvoreno, nabije na visok napon pa je dobro da bude dimenzioniran za pun iznos anodnog napona.

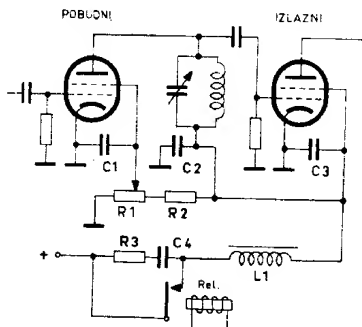
Otpornik R_2 također ovisi o vrsti cijevi i radnim uvjetima. On ima vrijednost od nekoliko pa sve do stotinu oma. Ukoliko bi dodatak katodnog otpornika R_2 prouzročio osjetljivo smanjenje izlazne snage predajnika povećavajući prednapon cijevi, treba smanjiti R_1 i tako opet dovesti prednapon na pravu mjeru. Nekada se ova pojava dađe ukloniti povećanjem pobude dakako, ako se ono može postići.

Kod uključivanja tipkala u katodni strujni krug pentode moći će C_2 imati nešto manji kapacitet, osobito ako je napon na zaštitnoj mrežici dovoljno »tvrd« i stabilan. To će biti onda ako ga dobivamo iz nekog ispravno dimenzioniranog razdjelnika napona ili pomoću neke vrste stabilizatora. Ne preporučuje se prekidati katodni strujni krug pentode kod kojih se druga mrežica napaja preko većeg otpornika, spojenog na pozitivni pol anodnog napona.

Prekidanje katodnog strujnog kruga ne dolazi u obzir kod *jačih predajnika*. Uz INPUT od, npr. 100 W ili više, pojavljuju se na kontaktima tipkala preveliki naponi i prejako iskrenje. Ovo ne ugrožava samo tipkalo već također i operatora koji može dobiti upravo smrtonosan električni udarac. Zato je mnogo bolje i sigurnije primijeniti blokiranje prve mrežice.

Dok je T_i otvoreno, prva mrežica se nabije iz pomoćnog izvora U_p , toliko negativno da je cijev sasvim »zatvorena« (sl. 11-49c). Napon U_p iznosi do nekoliko stotina volta. Kad se tipkalo pritisne, napon U_p ne može više djelovati na prvu mrežicu, dok otpornik R_1 služi sasvim normalno za postizavanje radnog prednapona. Kroz to vrijeme mora R_3 izdržati opterećenje naponom U_p . »Klik« kod pritiska na tipkalo T_i može se ublažiti povećanjem kapaciteta C_4 . Onaj »klik« koji se čuje kod otpuštanja tipkala ublažuje se povećanjem otpora R_3 . Pri tome se obično za R_3 uzimaju vrijednosti koje su 5 do 20 puta veće od R_1 . Veličini R_3 mora biti prilagođena i operativnost pomoćnog izvora U_p .

Anodni napon pobudnog stupnja je često jednako visok kao napon druge mrežice izlazne tetrode ili pentode u istom predajniku. U takvom slučaju može se tipkalom, ili još bolje nekim relejem, prekidati rad u ova oba stupnja (sl. 11-50). Oblikovanje telegrafskih znakova postiže se izborom pogodnih vrijednosti za L_1 , C_4 i R_3 . Znatno manji utjecaj imaju kapaciteti C_1 , C_2 i C_3 . Mijenjanjem napona zaštitne mrežice u pobudnom stupnju pomoću potenciometra R_1 mijenja se i veličina pobudnog VF napona. Ako bi



Sl. 11-50. Prekidanje struje druge mrežice izlazne cijevi i napajanja pobudnog stupnja. Rel. = relej koji služi umjesto telegrafskog tipkala.

Ostala objašnjenja u tekstu

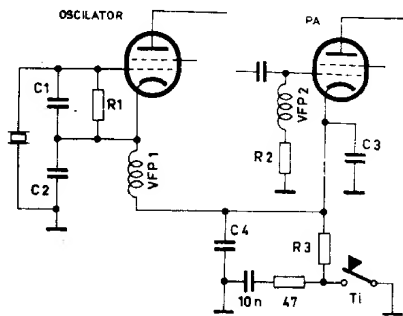
u pobudnom stupnju bila upotrebljena neka trioda, moguće je postići jednak učinak promjerom njenog anodnog napona.

L_1 je niskofrekventna prigušnica. Njezin induktivitet nije suviše kritična veličina. Na tome mjestu može poslužiti i primarna strana nekog izlaznog transformatora ili bilo kakva manja filterska prigušnica. Razumije se da žica kojom je ona namotana mora izdržati struju koja kroz nju teče. Vrijednosti za C_1 i R_1 ovise o izboru L_1 , a također o naponu i jakosti struje koja se prekida. Za prvi pokus možemo uzeti $0,1 \mu\text{F}$ i 50Ω . Kad smo kontrolirali kvalitetu signala možemo vrijednosti lako popraviti.

Signal će i u ovom primjeru biti bez »čirpova« samo onda ako isprekidani rad pobudnog stupnja nema utjecaja na oscilator. Prekidanje rada pobudnog stupnja, kao na sl. 11-50, može imati za posljedicu »povlačenje« oscilatora. Za ovo postoji veća opasnost ako svi stupnjevi predajnika rade na istoj frekvenciji. Zato je bolje da oscilator radi na nižoj frekvenciji, iako ni množenje frekvencije nije uvijek jamstvo da »čirpova« neće biti.

Promjenljivo opterećenje ispravljača može biti uzrokom promjena napona i kod oscilatora. Ovo svakako treba izbjeći, najbolje posebnom stabilizacijom pogonskih napona za oscilator. U svakom slučaju, pouzdanu informaciju o kvaliteti signala može dati jedino kontrola pomoću *dobrog* prijemnika.

O prekidanju samog oscilatora telegrafskim tipkalom nismo još ništa rekli. Razlog tome je taj da je prekidanjem oscilatora teže postići takvu kvalitetu telegrafskih znakova kao što se postiže prekidanjem ostalih stupnjeva. To posebno vrijedi za najviše frekvencije. Ipak, mnogim operatorima smeta trajan rad oscilatora jer za vrijeme rada svog davača ne mogu čuti eventualno »upadanje« korespondenta (BK). Izlaz su pronašli u tzv. *diferencijalnom* prekidanju.

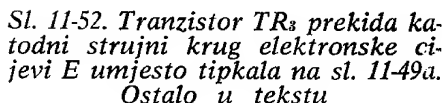


Sl. 11-51. Sklop za »diferencijalno« prekidanje oscilatora

Sklopovima za diferencijalno prekidanje nastoji se postići to da se oscilator uključi *malo prije* ostalih stupnjeva. Njegovo isključivanje mora slijediti *malo iza* isključivanja ostalih stupnjeva.

Najjednostavniji takav sklop koji se može upotrebiti *samo* kod predajnika s kvarcovim kristalnim oscilatorom prikazuje sl. 11-51. Kondenzatori C_1 i C_2 pripadaju normalnom oscilatorskom kapacitivnom djelitelju VF napona, potrebnom za pobuđivanje oscilacija. Odvodni otpornik R_1 nije spojen sa šasiom već s katodom. Kod prekidača u negativnom vodu struje napajanja, kod Ti , oscilator će oscilirati doklegod se C_1 ne isprazni. Izlazni stupanj (PA), kod kojega je R_2 spojen na šasiju, bude međutim odmah blokiran čim se Ti prekine. Kondenzator od 10 nF i otpornik od 47Ω služe za prigušivanje iskara na kontaktima tipkala i onih smetnja koje se mogu čuti u *blizom* prijemniku. Oni ništa ne doprinose sprečavanju »kliksova« koji bi mogli biti primjećeni kod prijema telegrafskih signala u većim udaljenostima od predajnika. Za ovu svrhu treba odabrati pogodne vrijednosti za C_1 (1 do $10 \mu\text{F}$) i za R_2 (obično do 100Ω). Ako su ove vrijednosti veće, veća je i sigurnost od »kliksova«. Budući da oscilator radi i između pojedinih »tačkica« i »crtica« moguća je emisija »spejsera«,

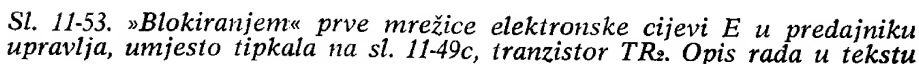
Tranzistori koji se upotrebljavaju u televizorima kao generatori »pilastog« napona u otklonskim sistemima podnose visoke napone. Tako 2N3439 može podnijeti napon do 350 V; 2N6457 napon do 400; *SDT 13305* do 500 V; *MJ 12010* do 950 V; *ECG 238* do 1500 V; da navedemo samo neke od njih. Prema sl. 11-52 može takav tranzistor biti uspješno upotrebljen za prekidanje katodnog strujnog kruga neke cijevi u predajniku za telegrafiju. Cijev je označena slovom *E*. Tranzistor TR_3 mora se odabrati tako da maksimalni napon koji još može podnijeti bude nešto viši od anodnog napona na cijevi. Tranzistori TR_1 (2N2905) i TR_2 (2N3904) upravljaju sa TR_3 . Telegrafsko tipkalo T_1 otvara tranzistor TR_1 koji preko R_1 nabija kondenzator C_1 da bi se otvorio i tranzistor TR_3 . Vremenska konstanta R_1C_1 odlučuje o oblikovanju početka telegrafskog elementa (tačke ili crte). Kad se tipkalo T_1 otvori, struja prestaje teći kroz TR_1 , ali kondenzator C_1 se još neko vrijeme izbija preko R_2 i R_3 sprečavajući da signal bude naglo prekinut. O prekidanju signala odlučuje vremenska konstanta $(R_2 + R_3)C_1$. Na taj način se mogu oblikovati telegrafski znakovi po želji i potrebi. Ako se obje vremenske konstante, ovisno o brzini

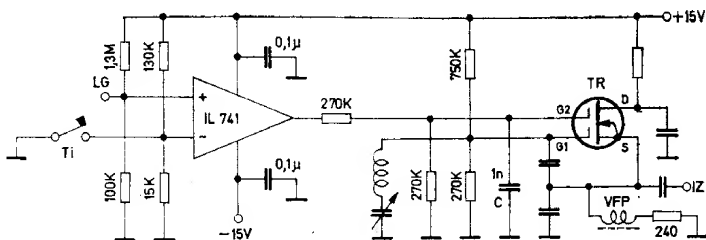


ni telegrafiranje, pravilno odaberu, signali zvuče jasno i čisto a smetnja od »kliksova« nema. Kao primjer navodimo da je *vremenska konstanta* od 5 ms vrlo dobro odabrana do brzina koje dosižu 40 do 50 riječi u minuti. Kod većih brzina, oko 120 riječi u minuti ta bi vremenska konstanta već bila prevelika i znakovi bi zvučali »premekano«.

Tranzistor TR_2 , sl. 11-52, preuzima ulogu tipkala ako se na njegovu bazu (kod LG) dovede neki »logički« signal, npr. iz automatskog ili poluautomatskog elektronskog tipkala.

Tranzistorski sklop na sl. 11-53
radi malo drukčije. Negativni pred-





Sl. 11-54. Prekidanje rada oscilatora preko operacijskog pojačala. U oscilatoru je MOSFET, vidi tekst

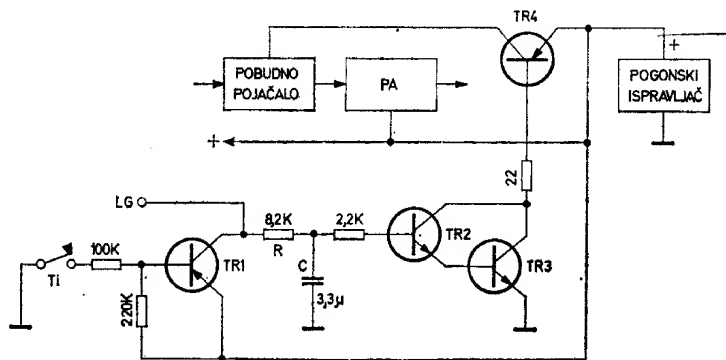
napon od kojih 300 V neka bude dovoljan da cijev *E* u predajniku bude sasvim zatvorena unatoč prisutnosti svih radnih napona na njenim elektrodama. U opto-izolatoru (4N25) LED-dioda svijetli i drži otvorenim fototranzistor koji je u njemu ugrađen. Tranzistoru *TR*₂ je djelovanjem toga fototranzistora baza dovedena na potencijal emitera i *TR*₂ ne vodi struju. Prednapon od -300 V može nesmetano djelovati na cijev *E*.

Kada se na tipkalu *Ti* uspostavi kontakt, stanje se mijenja. LED u opto-izolatoru se gasi, fototranzistor prestane propuštati električnu struju, tranzistor *TR*₂ provede i kratko spoji zaporni prednapon, pa elektronska cijev *E* u predajniku odmah proradi. Pri tome se može kapacitetom *C* utjecati na veličinu vremenske konstante tih promjena.

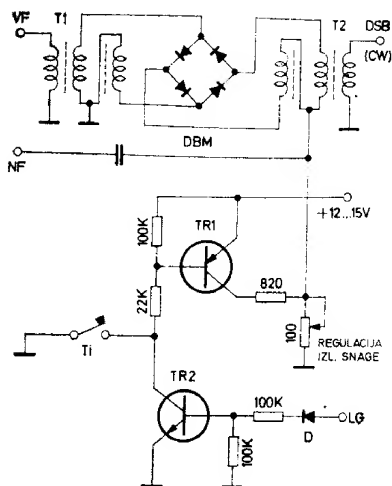
Tranzistor *TR*₁ i ovdje omogućuje direktan priključak logičkih sklopova (kod *LG*).

Savremena poluvodička tehnika omogućuje i druga rješenja. Tako možemo operacijsko pojačalo tipa *IL741* iskoristiti za prekidanje rada oscilatora s MOSFET-om *TR*, (sl. 11-54). Dokle god nije tipkalo *Ti* zatvoreno, oscilator ne može raditi jer mu je *G*₂ bez napona. Na *LG* mogu se priključiti neki logički sklopovi.

U tranzistorskim predajnicima se kod telegrafije najčešće prekida dovod napona za napajanje jednog ili više pobudnih pojačala, odnosno nekog drugog pogodno odabranog stupnja. Može se to načiniti i izravno, samim tipkalom, ali primjena odgovarajućih specijalnih elektroničkih sklopova ima svoje prednosti, posebno zbog mogućnosti oda-



Sl. 11-55. Tranzistorski sklop (*TR*₁, *TR*₂, *TR*₃ i *TR*₄) preko kojega se prekida napon napajanja za pobudno pojačalo u tranzistorskom predajniku



Sl. 11-56. Sklop koji omogućuje prekidanje rada predajnika kod telegrafije na taj način da se kvari ravnoteža u dvostruko balansiranom mikseru (DBM, vidi u poglavlju o SSB-telefoniji!). Postoji mogućnost regulacije izlazne snage

biranja vremenske konstante za oblikovanje znakova.

Takav je sklop na sl. 11-55. Električna struja iz pogonskog ispravljača može do pobudnog pojačala doći samo onda kad je TR_1 otvoren. Njega otvara darlingtonski par TR_2/TR_3 , ukoliko je aktiviran preko TR_1 za vrijeme dok je tipkalo T_1 zatvoreno. Prelaz od zatvaranja do otvaranja struje i obrnuto ovisan je o vremenskoj konstanti RC .

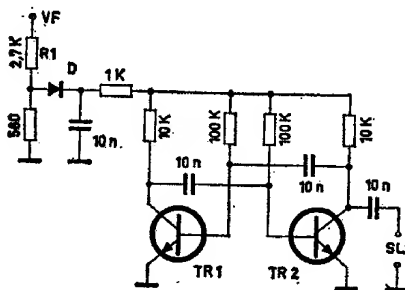
U predajnicima, određenim za održavanje veze SSB-signalima (vidi u 14. poglavlju) često se upotrebljava »dvostruko balansirani mikser« (DBM), sl. 11-56. Modulacija VF signala niskim frekvencijama NF omogućena je miješanjem sa četiri diode. VF val nosilac je skoro sasvim potisnut, zahvaljujući simetriji takvog miksera. Na izlazu se dobiju samo bočni pojasi (DSB). Simetriju je ovdje lako »pokvariti« dovođenjem istosmjerne električne struje koja djeluje na diode. To se

može iskoristiti za emisiju telegrafije. Svakiput, kad se primijeni istosmjerni napon, pojavi se i val nosilac. Na sl. 11-56 to se postiže u telegrafskom ritmu preko tranzistora TR_1 . Osim toga tu postoji i jednostavan način za regulaciju izlazne snage kod telegrafije, potencijometrom od 100 Ω . Tranzistor TR_2 se može dodati ako nam je potreban i »logički priključak« LG . U protivnom se TR_2 može ispustiti.

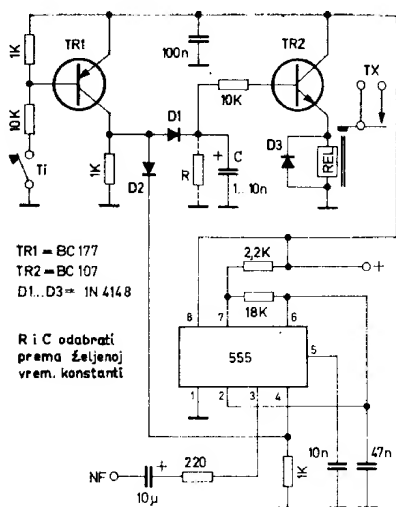
Monitori telegrafije

Monitor je elektronička sprava koja omogućuje operatoru da prati i kontrolira telegrafske znakove koje sam emitira (latinski: *monitor* = onaj koji opominje).

Multivibratorski oscilator s dva silicijeva tranzistora, spojen sa slušalicama kod SL, sl. 11-57, najjednostavniji je monitor za kontrolu CW signala. Ovaj nema svog izvora napajanja. Potrebnu struju dobije ispravljanjem visokofrekventnih signala samog predajnika. U tu svrhu treba priključnicu VF spojiti sa antenskom priključnicom onog predajnika s kojim radimo i otpor R_1 odabrati tako da se kondenzator od 10 nF, stavljen odmah iza diode D , nabije do 6 V svaki put kad je pritisnuto telegrafsko tipkalo. Tada oscilator proradi, a u slušalicama se čuje ugodan ton.



Sl. 11-57. Shema jednostavnog monitora za telegrafiju s dva tranzistora



Sl. 11-58. Tranzistorski sklop koji preko releja REL prekida rad predajnika i istovremeno, integriranim sklopom »555« omogućuje monitor-sku kontrolu telegrafije. Vidi tekst

Pomoću takvog, jednostavnog monitora može operator pratiti emisiju svojih telegrafskih znakova. Iako se takvim monitorom ne može ništa saznati o eventualnom postojanju »čirpova« ili »kliksova«, on ipak vjerno reproducira odnose između »crtica« i »tačkica« kao i određenih »razmaka« emitirane telegrafije.

Ako je monitor u blizini izlaznog stupnja nekog jačeg predajnika, često nije potrebno nikakvo priključivanje preko R_1 . Taj se otpornik može u tome slučaju zamijeniti komadićem izolirane(!) žice koju primaknemo onim dijelovima na kojima postoji veći VF napon.

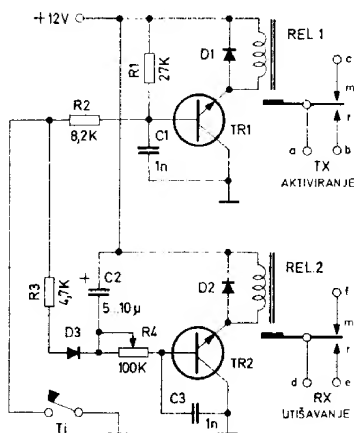
Kombinirani monitor, sl. 11-58, omogućuje istovremenu kontrolu telegrafskih znakova i upravljanje relejem REL preko kojega se uključuje i isključuje predajnik (TX). Dok kod T_i nije zatvoren kontakt, TR_1 ne propušta struju. Kad se tipkalo zatvori, preko TR_1 poteče struja i ide u dva smjera. Preko diode

D_1 i tranzistora TR_2 aktivira se relej REL i uključuje predajnik. Preko D_2 struja se šalje u integrirani sklop 555 koji je iskorišten kao ton-generator. U slušalicama, priključenim kod NF mogu se pratiti emitirani telegrafski znakovi. Razumije se da je moguće kod NF priključiti i niskofrekventno pojačalo da bi se znakovi čuli iz zvučnika, ako tako želimo.

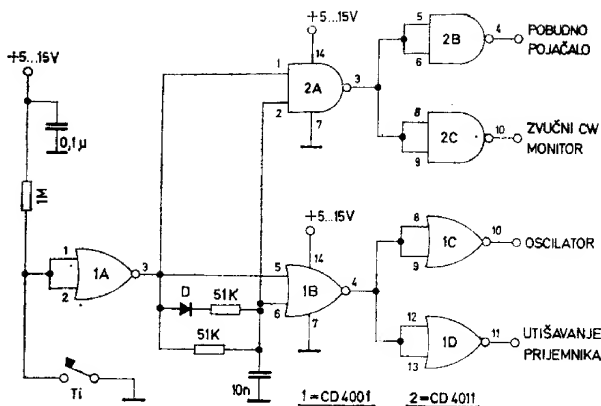
Utišavanje prijemnika za vrijeme dok predajnik radi

Dok je tipkalo T_i otvoreno, sl. 11-59, kotvice na oba releja, REL.1 i REL.2 prislonjene su na svoje mirne kontakte m . Pri telegrafiranju REL.1 aktivira rad predajnika u ritmu telegrafije. Vremenska konstanta R_3C_1 dovoljno je mala da to bude omogućeno.

Istovremeno se, preko diode D_2 nabija kondenzator C_2 . Brzina, kojom se to događa, ovisna je o vremenskoj konstanti R_3C_2 . Ova je razmjerno mala i kondenzator C_2 se brzo nabije tako visoko da preko TR_2 poteče struja i da REL.2 zatvori svoj radni kontakt.



Sl. 11-59. Sklop kojim se u ritmu telegrafije aktivira predajnik (TX) i kroz to vrijeme utišava prijemnik (RX). Opis u tekstu



Sl. 11-60. Integriranim sklopovima »CD4001« i »CD4011« (C-MOS), ili njima sličnima, postiže se višestruko upravljanje radio-stanicom. Dok se tipkalom T_i kucaju telegrafski znakovi uključuje se najprije oscilator i utiša prijemnik. Zatim se, tek neznatno kasnije, uključuje pobudno pojačalo u predajniku i zvučni telegrafski monitor

Izbijanje kondenzatora C_2 znatno je sporije jer ovisi o vremenskoj konstanti R_4C_2 . Nju možemo po volji odabrati mijenjajući R_4 sve do pune vrijednosti od 100 kΩ. Zbog veličine ove vremenske konstante ni tranzistor TR_2 , a ni REL_2 , ne mogu slijediti pojedine telegrafske znakove. Kad oni prestanu, potrebno je još neko vrijeme (ovisno o C_2 i o R_4) da relej »otpusti« i da kotvica otvori radni (r) i zatvori mirni kontakt (m).

Kontakte, osobito ako ih je više parova, možemo iskoristiti za utišanje prijemnika. To se može postići, npr. tako da se isključi pogonski napon za većinu stupnjeva u prijemniku (osim oscilatora!), da se kratko spoji ulaz NF pojačala i slično. Tako se prijemnikom ništa ne čuje dokle god radi predajnik. Kroz to vrijeme možemo NF pojačalo prijemnika dovesti u vezu s monitorom (kao na sl. 11-57) da čujemo ono što emitiramo.

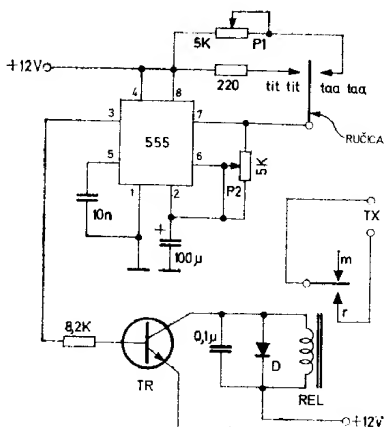
Višestruko upravljanje funkcijama pojedinih dijelova radio-stanice možemo i bez upotrebe releja postići primjenom nekih integriranih, digitalnih sklopova. Na sl. 11-60 je

primjer kod kojega su upotrebljena dva CMOS-a: CD4001 i CD4011.

Telegrafsko tipkalo upravlja radom sklopa $1A$ (unutar CD 4001). Od ovoga se telegrafski impulsi bez zakašnjenja prenose na oscilator predajnika ($1C$) i koriste za utišavanje prijemnika ($1D$). Sa malim zakašnjenjem (koje ipak ne smeta kvaliteti znakova!) uključuje se u predajniku njegovo pobudno pojačalo. To je zakašnjenje potrebno ukoliko bi se na početku svakog znaka pojave neke nestabilnosti u radu oscilatora. One se tako ne mogu čuti, jer ne mogu biti emitirane. Zajedno s predajnikom ($2B$) uključuje se zvučni monitor ($2C$) za kontrolu emitirane telegrafije. Vremenska konstanta određena je diodom D i s dva otpornika uz nju, kao i kapacitetom kondenzatora koji je ovdje uključen.

Automatska elektronička tipkala za telegrafiju

Automatsko telegrafsko tipkalo za telegrafiju, popularno nazvano »elektronac«, omogućuje operatoru

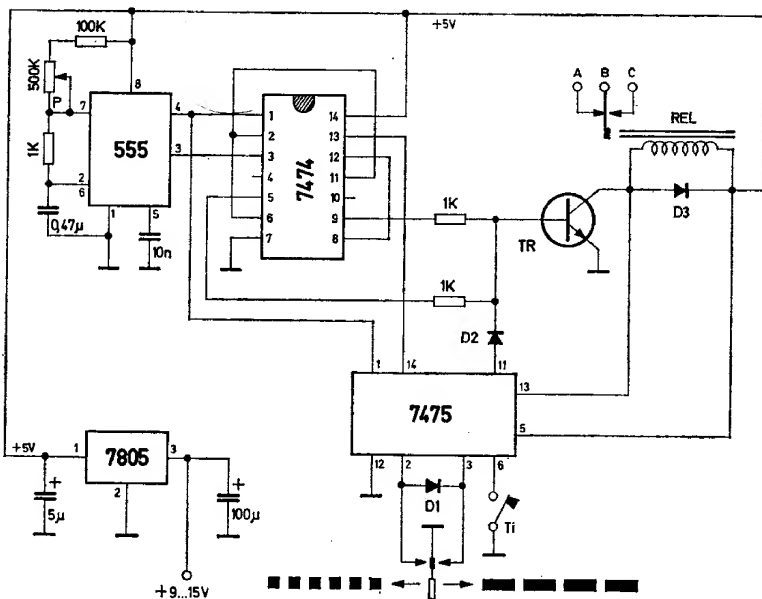


Sl. 11-61. Elektronički sklop koji automatski proizvodi kraće i duže elemente telegrafskih znakova, prema WA9KAN

da emitira Morse-ove znakove velikom brzinom. Brzina se postiže redovito na taj način, da elektronički

sklop takve sprave automatski proizvodi ili niz »tačkica« (tit tit tit...) ili niz »crtica« (taa taa taa...), sa pravilnim trajanjem i s pravilnim međusobnim razmacima. Operator mora samo pomicati ručku lijevo-desno i slušati ono što na taj način dobije. Razumije se da je to moguće samo operatoru koji je dobar telegrafist, uvježban za rad sa »elektroncem«.

Ima i takvih »elektronaca« kod kojih je automatizacija toliko razvijena da operator treba samo pritisnuti na tipke, kao što su one na pisaćem stroju, a emisija znakova teče ritmički i pravilno bez njegovog sudjelovanja. Kako daleko ćemo dopustiti da »automatika« radi umjesto nas, stvar je ukusa, ali i cijene takvih uređaja. Kad su načinjeni i uređaji za čitanje Morse-ovih telegrafskih znakova koji se pojavljuju na ekranu televizijskog ikonoskopa, bilo je i šala na taj račun. Neki humorista je zamislio



Sl. 11-62. »Elektronac« sa vlastitom stabilizacijom radnog napona za pogon integriranih sklopova »555«, »7474« i »7475«, kao i tranzistora TR preko kojega se upravlja relejem REL. Vidi tekst

amatersku radio-stanicu, u tolikoj mjeri automatiziranu, da može sama — upravljana mikroprocesorima — održavati sve veze u kontestima, dok sam radio-amater — spava! Pa, iako je zamišljeno kao humoreska, nije daleko od mogućnosti tehničke realizacije (HI).

Ovdje ćemo se, svakako, zadovoljiti skromnijim uređajima!

Razmjerno jednostavan »elektronac« načinio je WA9KAN upotrebivši samo jedan tranzistor i jedan integrirani sklop, sl. 11-61. Tranzistor *TR* može biti bilo koji silicijski uz jedini uvjet, da podnese struju releja *REL*. Dioda *D*, spojena paralelno sa zavojnicom releja štiti tranzistor od induciranih napona koji se redovito javljaju kod *prekidanja* struje i koji mogu biti prilično visoki, dovoljni da probiju tranzistor. Integrirani sklop je poznati 555. On proizvodi »tit tit tit...« u jednom i »taa taa taa...« u drugom položaju ručice. Potencijetrom *P*, odabire se odnos trajanja »crtice« prema trajanju »tačke«. Pomoću *P* bira se brzina telegrafiranja.

Elektroničko tipkalo, sl. 11-62, ima više sastavnih dijelova, ali je i bolje. Odnos trajanja pojedinih elemenata telegrafskih znakova održava se automatski.

Stabilizacijski integrirani sklop 7805 osigurava radni napon od 5 V, dok ulazni napon može biti između 9 i 12 V. Promjenom otpora na potencijetru *P* mijenja se frekvencija impulsa što ih proizvodi integrirani sklop 555 koji je i ovdje upotrebljen. Pomicanjem ručice lijevo ili desno sastavljamo telegrafske znakove iz automatski proizvedenih dijelova. Zanimljivo je da se može priključiti i obično telegrafsko tipkalo i onda upotrebljavati ili to ili ručicu.

Pogled na takav uređaj omogućuje sl. 11-63. Nismo pripremili posebnu štampanu pločicu. Svi dijelovi su zalemljeni na pertinaksovoj, perforiranoj pločici. Razmak među rupicama je 2,5 mm. Na stražnjoj strani pločice su metalne pruge (kaširane bakrene trake). One, dakako,

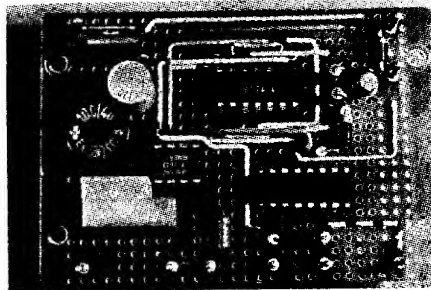
ne omogućuju sve spojeve. Mnoge od njih morali smo načiniti tankim, izoliranim žicama. Dimenzije pločice su 80×55 mm.

»San« nekih operatora je integrirani sklop »CURTIS 8044«. Građen je u CMOS tehnici i sadrži »sve«. On automatski formira sve dijelove telegrafskih znakova, održava im trajanje i razmake bez obzira na manje nejednoličnosti u radu operatora. Ima i »memoriju« pa se ne mogu izgubiti pojedini elementi ni onda ako se operator »požuri« ne očekavši da »kurtis« otkuca sve što mu je zadano. Ugrađen je i monitor!

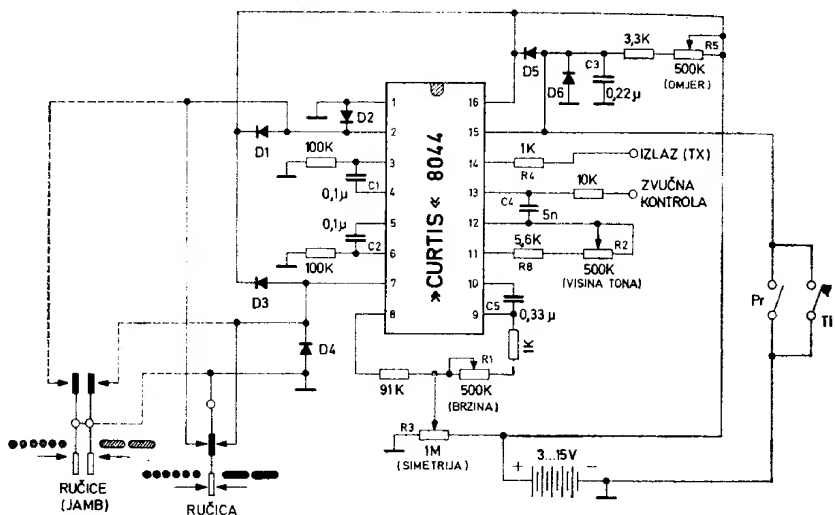
Potrošak struje je nevjerovatno malen: oko 50 mikroampera! Ima tvornica koje taj CMOS sklop ugrađuju u svoje uređaje, kao npr. japanska firma »YAESU« u svome, i našim amaterima poznatom, primopredajniku »FT-902DM«.

Razmjerno vrlo malen broj do datnih sastavnih dijelova, sl. 11-64, uglavnom nešto otpornika, kondenzatora, dioda i četiri potencijettra, omogućuje i samogradnju. Treba »samo« nabaviti taj CMOS (HI).

Za ugrađenu zvučnu kontrolu (monitor) visina tona može se odabrati potencijetrom *R*₂, dok brzinu telegrafiranja regulira *R*₁.



Sl. 11-63. Pogled na sagrađeni »elektronac«, prema sl. 11-62. Sve je postavljeno na perforiranu pločicu od pertinaksa i međusobno spojeno žicama na prednjoj i bakrenim trakama koje se nalaze na stražnjoj strani pločice



Sl. 11-64. Integrirani sklop »CURTIS 8044« sadrži sve aktivne elemente koji su potrebni usavršenom automatskom kucanju telegrafije uz isto-vremenu monitorsku kontrolu. Vidi tekst

Simetrija (R_s) i omjer među po-jedinim telegrafskim elementima (R_s) također se mogu mijenjati sa ciljem da se znakovi optimalno prilagode svojstvima predajnika (vremenskim konstantama!) s kojim ovakvo automatsko tipkalo radi.

Rad je omogućen na tri načina. Može se priključiti i obično telegrafsko tipkalo T_i za ručno kuca-nje. Za brzi i automatski rad mogu se upotrebiti dvije vrste ručica, ona s jednom kao i ona s dvije poluge. Rad s jednom polugom odgovara radu sa ranije opisanim »elektron-cima«. Pomakom na jednu stranu dobije se niz kraćih znakova (»tač-kice«); pomakom na drugu stranu dobiju se duži znakovi (»crte«).

Ako se priključi »manipulator« s dvije poluge, onda pomak jedne daje »tit tit tit«; pomak druge daje »taa taa taa«. Stisnu li se poluge jedna prema drugoj postiže se »jambsko« tipkanje. Ono se sastoji od niza kraćih i dužih znakova koji slijede jedan za drugim: »tit taa tit taa tit taa« ili »taa tit taa tit taa tit«, prema tome koju smo od

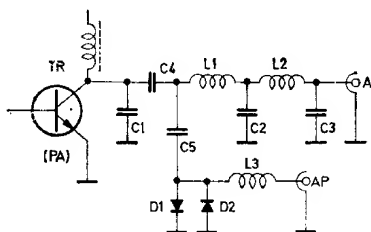
dvije poluge prije pritisnuli. (U starogrčkom pjesništvu se pazilo na ritam. Jedan od pjesničkih rit-mova je i »jamb«, otuda ime »jamb-skom tipkanju«. Taj se ritam mo-že naći i u naših pjesnika; V. Na-zor je jedan od njih: »...cvrči cvrči cvrčak...«)

Zaštita prijemnika

Staro pravilo, poznato svim ope-ratorima, kaže: »Dok ga ne čuješ, ne možeš s njim ni vezu uspostavi-ti!« Nije dosta imati dobru predaj-nu antenu. Dobra antena potrebna je i za prijem! To je razlog da ra-dio-amateri najčešće za obje svrhe upotrebljavaju istu antenu.

Upotreba iste antene može, una-toč upotrebe odgovarajućih releja, ugroziti prijemnik (i uho operatora, HI) za vrijeme dok predajnik radi. U svakom slučaju je potrebna za-štita.

Za predajnike manje snage koji imaju u izlaznom stupnju tranzis-tor, TR na sl. 11-65, zaštita prijem-

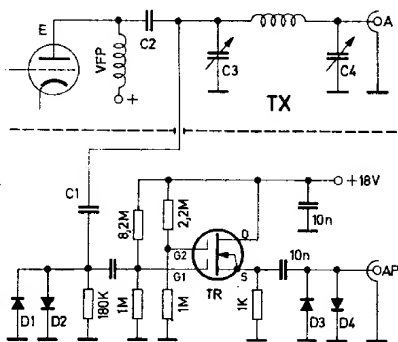


Sl. 11-65. Zaštita prijemnika za vrijeme rada odašiljača (PA), ako je i prijemnik priključen na istu antenu. A = antenska priključnica. AP = priključnica na koju se spaja »antena« prijemnika. Opis u tekstu

nika razmjerno je jednostavna. Između tranzistora u PA stupnju i antenske priključnice A je normalni peteročlani filter, sastavljen od kondenzatora C_1 , C_2 i C_3 , te od zavojnica L_1 i L_2 . Kondenzator C_4 ima velik kapacitet i on treba samo da spriječi prolaz istosmjernim strujama. Ako je prijemnik spojen sa priključnicom AP preko koaksijalnog kabela, a predajnik ne radi, kondenzator C_5 i zavojnica L_3 zajed-

no djeluju kao serijski titrajni krug, kao dodatni filterski član za frekvencije koje su došle od antene preko A i preko predajnikovog filtera. Prisutnost antiparalelno spojenih silicijevih dioda D_1 i D_2 nema nikakvog učinka. Kapacitet im je malen, zanemarljiv prema ostalim kapacitetima. Osim toga kroz njih ne mogu teći struje ako napon ostaje ispod 0,6 ili 0,7 V. Kod prijema antenske struje ostaju daleko ispod te vrijednosti.

Kad se uključi predajnik, pojavi se visokofrekventni napon na kolektoru tranzistora TR, na kondenzatoru C_1 i na početku zavojnice L_1 , koji — preko C_5 — lako poteče kroz diode. Kapacitet kondenzatora C_5 dodaje se ulaznim kapacitetima izlaznog filtera. Ako on nije velik ništa se bitno ne promijeni za rad predajnika. Međutim serijske resonancije u C_5/L_3 više nema. Taj serijski titrajni krug je onemogućen, jer ga diode uzemljuju. Zato se na priključnici AP može pojaviti VF napon koji ostaje ispod 1 V, što ne može oštetiti ulazni stupanj prijemnika.



Sl. 11-66. Ako je prijemnik spojen na zajedničku antenu s nekim predajnikom veće snage, potrebna je bolja zaštita. Ona je ovdje postignuta s dva para antiparalelno spojenih dioda (D_1/D_2 i D_3/D_4) te MOSFET-om TR koji također pruža zaštitu za vrijeme rada odašiljača. Za vrijeme prijema on služi kao aperiodičko ulazno pojačalo za prijem

Za veće predajnike sa jačim izlaznim snagama, koji imaju izlazni stupanj s elektronskom cijevi ili s tranzistorima, može se zaštita prijemnika načiniti prema sl. 11-66. Izlazni stupanj takvih predajnika, TX, redovito je u svom oklopu od perforiranog lima. Sa ulaznog kondenzatora predajnikovog PI-filtera (C_1), preko C_1 koji mora biti dimenzioniran za radni napon trostruke vrijednosti anodnog (odnosnog kolektorskog) napona, spaja se zaštitni sklop. Načinjen je oko MOSFET-a s dvije gejt-elektrode. Ulaz tog MOSFET-a zaštićen je antiparalelno spojenim diodama D_1 i D_2 . Na izlazu su — također antiparalelno spojene diode D_3 i D_4 . Sve četiri su silicijeve visokofrekventne diode s malim kapacitetima.

Dok predajnik TX ne radi, kratkovalni signali stižu od antene na priključnicu A, zatim kroz PI-filter predajnika i kroz C_1 na MOSFET.

Budući da je on spojen kao surs-folover, na priključnicama AP, na antenskom ulazu prijemnika, poja vit će se primljeni signal bez ikak- vog oslabljenja. Sve će biti otprilike tako, kao da je prijemnik izravno spojen s antenom. Prisutnost dioda nema značenja jer one ne vode struju. Naponi kratkovalnih signala ostaju daleko ispod 0,6 V.

Kad predajnik radi, ulazni na- pon u MOSFET, kao i izlazni napon toga zaštitnog pojačala, ne mogu biti veći od 0,6 do 0,7 V. To je naj- viša amplituda VF napona koji može stići u prijemnik, ali to nije opasno.

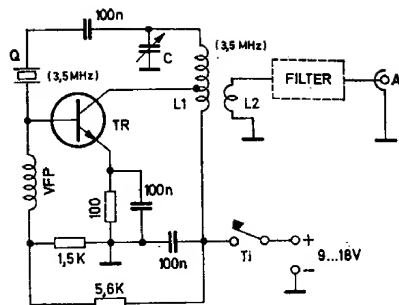
IZBOR SHEMA KRATKOVALNIH PREDAJNIKA

Izbor shema kratkovalnih pre- dajnika može se naći i u ranijim iz- danjima RADIO-PRIRUČNIKA. U prvom izdanju (1972. g.) započinje to na str. 279; u drugom izdanju (1976. g.) na str. 275. Sve sheme koje su onda bile objavljene imaju svoju vrijednost i danas, pogotovo za one koji žele sami graditi svoje uređaje.

U trećem i četvrtom izdanju do- nosimo zbirku shema, bez većih po- navljanja onoga što je prikazano u dva ranija izdanja. I ovdje će kon- struktori naći nešto za sebe. Upoz- nat ćemo se i s nekim tvorničkim rješenjima.

QRP-predajnik za opseg od 3,5 MHz

Radio-telegrafska kratica *QRP* znači »smanji snagu«. Među ama- terima ista kratica označuje i pre- dajnik male snage. Međunarodno se uzima da je područje snage, koje se smije označiti kao »pravi« *QRP*, između 1 i 5 W. Ispod ovog nivoa snage je *QRPP*. Dodatkom još jed- nog slova *P* radio-amateri žele reći da je snaga predajnika vrlo male- na, najviše 1 W ili manja.



Sl. 11-67. Tranzistorski predajnik male snage. Frekvenciju određuje kvarcov kristal. Opis u tekstu

Shema na sl. 11-67 omogućuje gradnju *QRP* predajnika. O izboru tranzistora i visini napona za napa- janje ovisi kolika će mu biti snaga.

Tranzistor može biti najraznolič- nijeg tipa. Od BC219 ili BC119, preko BC140 i BC141 ili cijele tranzistorske »familije« s oznakom BFY ... BSY ... do BD135, 137 ili 139. Za početak je najbolje upotre- biti neki od domaćih tranzistora tipa N-P-N, u kućištu TO-5, planar- ne konstrukcije. Iako imaju oznaku BC... i namjenski su predviđeni za niskofrekventna pojačala, svi imaju graničnu frekvenciju kod ne- kih 60 ili čak preko 100 MHz, što je daleko iznad kratkovalnog pod- ručja.

Titrajni krug L_1C treba promjen- ljivim kondenzatorom C , kad je skoro sasvim zatvoren, dovesti u blizinu frekvencije kvarca Q . On određuje radnu frekvenciju i mora biti brušen za rad negdje između 3500 i 3600 kHz, dakle u 80-metar- skom »telegrafskom« opsegu. Kri- stal ujedno služi i za povratnu vezu koja je potrebna za pobuđivanje titraja. C neka bude oko 100 do 150 pF.

Kolektor tranzistora je spojen na odvojak zavojnice, oko polovice broja zavoja. Zavojnicu možemo namotati na promjeru oko 2,5 cm bakrenom, neizoliranom žicom, deb- ljine 0,8 do 1 mm. Sa ukupno 45 zavoja i odvojkom kod 20. ili 22. za-

voja. Dužina zavojnice neka bude 6,5 do 7 cm. Imamo li tijelo za zavojnicu nekog drugačijeg promjera, možemo si pomoći dip-metrom da je pravilno načinimo. Zavojnica L_2 mora biti namotana na isto tijelo, *odmah pokraj L_1 uz njezin »hladni kraj«*, gdje je i nacrtana. Desetak zavoja će biti dovoljno. Možda će biti potrebno da se s tim brojem zavoja, o kojima ovisi veza s antenom, malo eksperimentira. Veza neka bude dovoljno čvrsta da se »izvuče« što više snage iz predajnika, ali ne toliko da oscilacije prestanu ili da budu preslabe ili nestalne.

Raspored dijelova nije previše kritičan, ako nastojimo da svi međusobni spojevi budu što kraći.

Kad smo sve uredno i tačno spojili, postavimo naš »QRP« pokraj prijemnika, ugođenog na frekvenciju kristala. Pri tome možemo prijemnik ostaviti bez priključene antene. Umjesto nje će možda biti dosta (ako ne i previše!) samo malen komadić žice.

Na QRP-predajnik priključimo izvor napajanja *pazeći na polaritet*. Zatim pritisnemo tipkalo T_1 . Pažljivom vrtnjom promjenljivog kondenzatora amo-tamo naći ćemo mu takav položaj da se oscilacije pobude. Ako prijemnik ima S-metar lako ćemo postići da oscilacije budu najjače.

Iza toga treba na antensku priključnicu spojiti neinduktivni otpornik od 50 Ω i pokušati naći najbolji položaj i broj zavoja zavojnice L_2 da veza sa L_1 bude što čvršća, a da oscilacije ipak ostanu snažne (S-metar!). Možemo u tu svrhu upotrebiti i neku od lažnih antena (»umjetna«, »veštačka«) koje su opisane u poglavlju o mjernim instrumentima (str. 711).

Kad je to u redu, možemo pokušati da priključimo neku antenu (pazi: *samo onda, ako već postoji položen operatorski ispit i dozvola rada!*). To može biti komad žice, dugačak 21 m, izolirano razapet što dalje od ostalih predmeta, ili neka

antena za 80-metarski opseg (vidi poglavlje o antenama). U vlastitom prijemniku, koji radi bez antene (!) moraju se jasno i glasno čuti znakovi koje kucamo tipkalom T_1 . Ako tog nema, treba popraviti ugađanje kondenzatora C.

Bolji rad QRP-predajnika osigurat ćemo ako rotor promjenljivog kondenzatora, zajedno sa limenom pločicom na kojoj je sve montirano, spojimo na neko uzemljenje, npr. na vodovodnu cijev ako je u blizini. Ukoliko bi takav »zemljovod« bio duži od metar-dva, bolje je uzeti komad izolirane žice, dug 21 m, i rastegnuti ga po podu ili objesiti kroz prozor. Takvu žicu koja zamjenjuje spoj sa zemljom nazivamo »protu-uteg« (»protuteg«).

Poslije ovoga možemo zamoliti nekog radio-amatera u blizini da pokuša primiti naše telegrafske znakove. Domet predajnika će biti veći ako napon napajanja bude viši. Ipak se ne smije pretjerati da ne strada tranzistor. Sa tranzistorima tipa BC... može se postići (uz 12 do 15 V) snaga oko 0,5 W. Tranzistori tipa BD... dat će sa većim pogonskim naponom (do 18 V) preko 1 W snage. Označeni filter redovito neće biti potreban.

Mini QRPP s digitalnim integriranim sklopovima

Shema predajnika sa dva digitalna integrirana sklopa, 7400 i 7403, koju je WØXI opisao u časopisu »CQ« (okt. 1981) u prvi moment izgleda nevjerojatna! Ipak, to je pravi QRPP!

Kvarcov kristal Q može biti za frekvenciju u 80-metarskom ili u 40-metarskom opsegu (između 3500 i 3600 kHz ili između 7000 i 7050 kHz).

Integrirani sklop 7400 je četverostruki NAND (vidi poglavlje o integriranim sklopovima). Prvi i drugi od njih (A_1 i A_2), sl. 11-68, iskorišteni su kao jednostavan kvarcov

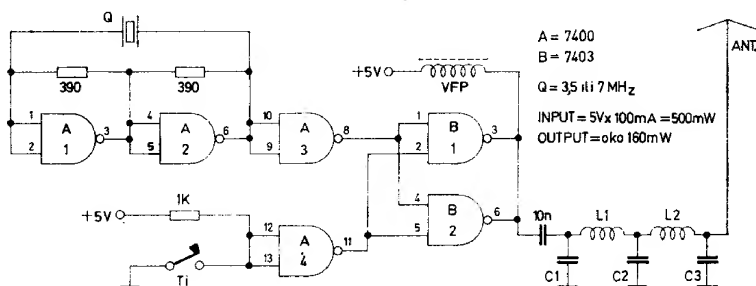
Od »integrirca« 7403 iskorišćena su samo dva NAND-sklopa. Oni se od predašnjih (u 7400) razlikuju po tome što je kolektorski strujni krug njihovih tranzistora otvoren. B_1 i B_2 spojeni su paralelno. Rade u ritmu određenom kvarcovim kristalom i propuštaju oscilacije te frekvencije samo onda ako je tipkalo T_1 zatvoreno. Preko visokofrekventne prigušnice VFP (oko 1 mH) teče struja u obliku »črtvrtki« koje imaju, uz osnovnu, vrlo mnogo viših harmoničnih frekvencija. Filtracija je, dakle, neizbježiva. Podaci za gradnju odgovarajućeg filtera, mogu se naći i na sl. 22-12 (str. 730) i na tablici 22-2 koja vrijedi uz tu sliku.

Zanimljivo? Tko voli eksperimentirati neka pokuša ispitati ko-

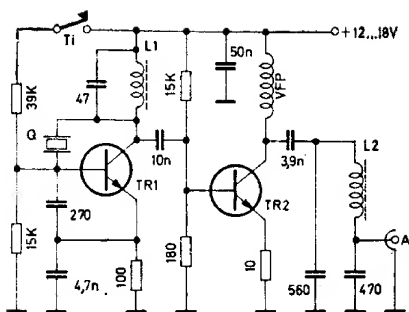
Jednostavan predajnik s dva tranzistora

Uz označene kapacitete kondenzatora (stirofleksi!) neka, za 80-metarski opseg zavojnica L_1 ima 41 μH , a zavojnica $L_2 = 7 \mu\text{H}$. Prigušnica VFP može imati 100 μH uz tranzistor BD 135.

Telegrafsko tipkalo je spojeno na neobičan način. Ono prekida struju koja teče kroz naponski razdjelnik baze prvog tranzistora.



341



Sl. 11-69. Tranzistorski predajnik s dva tranzistora. TR_1 i TR_2 mogu oba biti, npr. BD 135. Kvarcov kristal Q neka bude za 3,5 MHz. $L_1 = 41 \mu H$; $L_2 = 7 \mu H$; $VFP = 100 \mu H$. Vidi tekst

Dvovatni ili desetvatni predajnik za 3,5 MHz, za kristal ili za VFO

Princip primjene što jednostavnijih veza između stupnjeva u predajniku ne mora biti zapreka postizavanju dovoljne izlazne snage. Potrebno je samo ugraditi više stupnjeva i utrošiti veći broj tranzistora. Tranzistori nisu najskuplji sastavni dijelovi predajnika! Tim putem je pošao DK9FN (CQ-DL, 1/1980) pri konstrukciji svog 160-metarskog, jednovatnog predajnika. Taj nam je poslužio kao uzor kad smo htjeli sagraditi 80-metarski predajnik. Želja je bila da se za tu gradnju upotrebe domaći tranzistori i da se, po mogućnosti, dobije nešto veća izlazna snaga. To je uspjelo.

Shema je nacrtana na sl. 11-70a. Upotrebjeno je 5 tranzistora. Od toga su prva tri međusobno jednaka. To mogu biti i BC 107, kakve smo ugradili u prototip. TR_4 je 2N2219, a TR_5 BFG46 ili sličan. Svi ovi tranzistori se proizvode i kod nas. Tako smo mogli upotrebiti domaće tranzistore (»RIZ«).

Napon za napajanje predajnika je 13,5 V, osim za prva dva tranzistora kojima pogonski napon iznosi 9 V. On se dobije stabilizacijom

pomoću Zenerove diode ZD. Stabilizirani napon dovodi se tranzistorima TR_1 i TR_2 preko tipkala Ti kojim se kuca telegrafija.

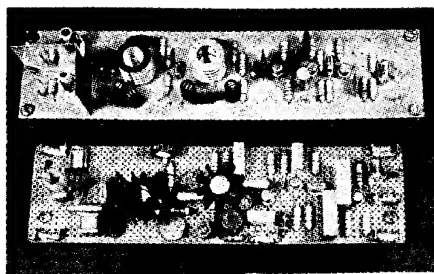
Prvi tranzistor može raditi kao oscilator. Ako želimo da nam radi kao *kristalni oscilator* s kvarcom Q , dovoljan je kapacitivni razdjelnik C_1/C_2 da se oscilacije kvarca snažno pobude.

Da bi prvi tranzistor mogao raditi kao *oscilator s promjenljivom frekvencijom*, potrebno je dodati kondenzatore C_9 i C_{10} i pomoću njih povećati kapacitete u razdjelniku oscilatora. Zavojnica L_1 i kapaciteti kondenzatora C_{11} i C_{12} određuju frekvenciju. Oni su tako dimenzionirani da oscilator obuhvati opseg između 3500 i 3600 kHz. To se postiže promjenljivim kondenzatorom C_{12} koji ima maksimalni kapacitet oko 20 pF (ili 2×11 pF, spojenih paralelno!) Veći opseg nije potreban, jer je predajnik predviđen samo za telegrafiju.

Postoji i treća mogućnost! To je pobuđivanje predajnika iz nekog drugog, stabilnog VFO-a. Tada treba izvaditi oba kondenzatora, C_1 i C_2 , pa onda na priključnicu a spojiti VFO.

Tranzistor TR_2 u drugom stupnju predajnika je preko kondenzatora C_3 spojen s emiterom prvog tranzistora. Svi do sada spomenuti kondenzatori, koje smo upotrebili za gradnju prototipa, bili su domaći *polistirolski* (»Iskra«). Kad smo jednom zgodom bili u tvornici koja ih proizvodi, vidjeli smo da se strojno motaju. Radnica pri tom poslu ima na ruci bijele pamučne rukavice! Taj postupak očito nije uzaludan, jer metalne trake i polistirolske vrpce ostaju sasvim čiste! Oscilator nam je na sve opisane načine radio izvanredno stabilno i čisto, bez ikakvih »čirpova«. Ton je bio pravi T_9 , hvala proizvodnji u rukavicama!.

Treći tranzistor je s drugim u direktnoj galvanској vezi. Tako se on otvara tek onda, kada je tipkalo



Sl. 11-71. Izgled dvovatnog kratkovalnog predajnika, sl. 11-70. Tu se vide dvije izvedbe prema istoj shemi. Donji je sagrađen na perforiranoj pločici od pertinaksa (YU2BR), a za gornji je bila načinjena »prava« štampana pločica (YU2CO)

zatvoreno. TR_3 je ovdje samo za vezu s oscilatorskim tranzistorima i radi kao emitorsko slijedilo. Preko C_4 je ostvarena veza s tranzistorom TR_4 . On je, dok nema signala tek malo otvoren, blizu klasi AB. Kod pobude mu kolektorska struja poraste. U kolektorskom strujnom krugu se nalazi prigušnica VFP_1 , u emitorskom strujnom krugu malen otpornik, pa se, unatoč aperiodičnosti tog stupnja, postiže dovoljna snaga za pobudu izlaznog stupnja. Zanimljivo je da su obje visokofrekventne prigušnice mogle biti veoma male, izgledom kao na sl. 11-70 desno, dolje. Imaju samo tri zavoja žice koja je provučena kroz šest rupica u valjčiću od ferita. I treća prigušnica, VFP_2 , bila je takva. To je moglo biti, budući da tranzistorski stupnjevi u predajniku imaju relativno male impedancije. Onda ni prigušnice ne moraju imati osobito velike induktivitete.

Umjesto izlaznog titrajnog kruga ugrađen je jednostavan tročlani filter: C_6 , L_2 , C_8 . Kondenzator C_7 nema utjecaja na rad filtera. On ima velik kapacitet i ugrađen je samo zato da prekine put istosmjernoj struji kako ne bi došla na izlaznu priključnicu I . Izlazni tranzistor TR_5 ima na svojoj bazi samo malen prednapon. Zato je njegov

rad bliže klasi B. Potencijometar P (500Ω) omogućuje smanjenje izlazne snage, ako je to potrebno.

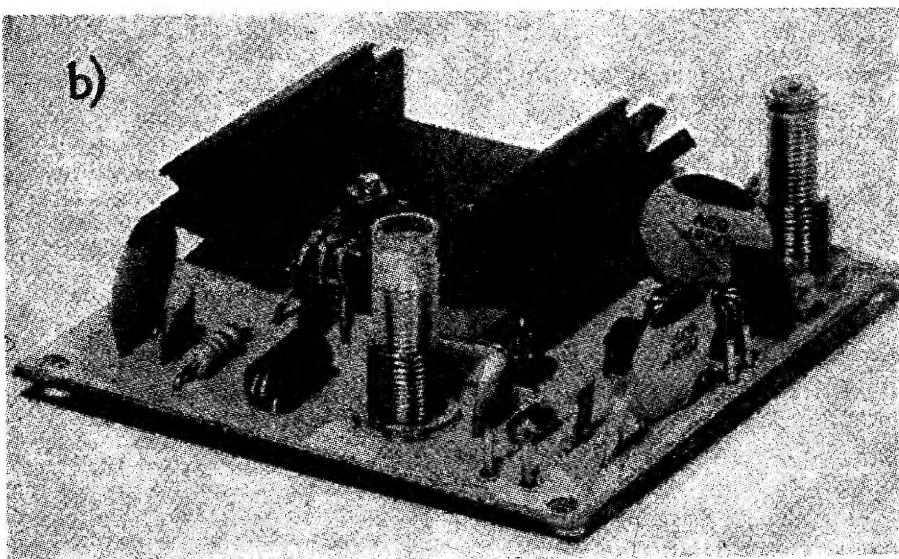
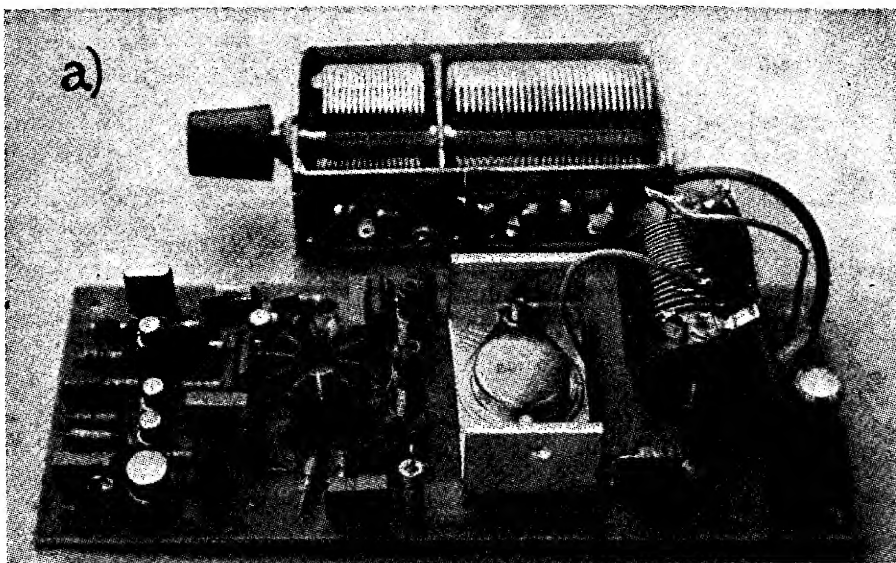
Maksimalna izlazna snaga (s kvarcovim kristalom ili sa VFO) kod različitih primjeraka ovog predajnika (na sl. 11-71 vide se dva od njih) iznosila je između 1,6 i 2 W, ovisno o upotrebljenim tranzistorima. Iako su tranzistori u svim primjercima predajnika bili istog tipa, normalne razlike u pojačanju uvijek su imale i razlike u izlaznoj snazi. Ona je iznosila $1,8 \pm 0,2$ W.

Ugađanje predajnika svedeno je samo na opseg frekvencija, ukoliko radimo s VFO-om (sa L_1 kod 3500 kHz; sa C_{11} kod 3600 kHz). Uz kvarcov kristal nema šta ugađati u oscilatoru! Zavojnicu L_2 treba ugaditi tako da se maksimalna izlazna snaga postiže kod 3550 kHz. Poslije toga je više ne treba dirati.

Može li se nešto postići sa snagom od skoro 2 W? Kako da ne! Treba samo još dobar prijemnik i dipol-antena za 80-metarski opseg. Dakako i strpljivosti, jer ima snažnijih konkurenata. U nekoliko večeri pokusnog rada veze su uspostavljene do QRB od 1000 km!

Veću izlaznu snagu je moguće postići uz dodatak još jednog stupnja. Da se sagradi takav stupanj, koji bi mogao dati oko 10 W, ima više mogućnosti. Na sl. 11-70b i sl. 11-70c dvije su sheme takvog dodatnog stupnja.

Na raspolaganju nam je bio tranzistor BU 100. Njega smo upotreбили prema sl. 11-70b. Na ulaz U se priključuje predajnik sa sl. 11-70a, odnosno sa sl. 11-71. Budući da taj tranzistor ima vrlo velik izlazni kapacitet treba ga prilagoditi izlaznom titrajnom krugu. Za to prilagođenje treba odabrati najbolji odvojak na zavojnici izlaznog titrajnog kruga, L_4 . Antenska priključnica, A , također mora biti spojena s nekim odvojkom. Gdje će ovi odvojci, b i c , biti na izlaznoj zavojnici treba odrediti pokusom. Naša zavojnica je imala ukupno 9 zavoja, namotanih na valjku pro-



Sl. 11-72. a) predajnik prema shemi na sl. 11-70a i sl. 11-70b (YU2REY);
b) 10-vatni izlazni stupanj prema sl. 11-70c. Vidi tekst

mjera 3 cm. Žica je bila neizolirana, debela 1 mm. Dužina zavojnice bila je 4 cm. Pokusom smo ustanovili da su se (za našu 80-metarsku

antenu!!) oba odvojka našla na drugom zavoju, jedan pokraj drugoga. Tada je izlazna snaga bila najveća. Pritom se mora promjen-

ljivim kondenzatorom u izlaznom titrajnom krugu *stalno održavati resonanciju!*

Izlazna snaga koja se postiže tranzistorom BU 100, uz napon napajanja od 13,5 V, bila je 7 do 8 W. Povećanjem napona (pazi, samo ovaj izlazni stupanj!) do 25 V, porasla je izlazna snaga na preko 15 W. Na sl. 11-72a vidi se takav predajnik. YU2REY je na istu pločicu stavio i pobudni i izlazni dio (sa BU 100), prema sl. 11-70a i sl. 70b.

Druga mogućnost je shematski prikazana na sl. 11-70c. Ovo je shema malog izlaznog stupnja za kratkovalni predajnik, prema DK9FN, prepravljena za 80-metarski opseg. On je upotrebio japanski tranzistor 2SC1307 (sl. 11-72b) i postigao izlaznu snagu oko 10 W (kod 12 V). Tko ima sličan tranzistor neka pokuša...

Upotreba elektronskih cijevi u manjim kratkovalnim izlaznim stupnjevima

Elektronske cijevi EL84 (i njima slične) određene su za upotrebu u niskofrekventnim pojačalima. One se mogu također upotrebiti u predajnicima za pojačanje snage.

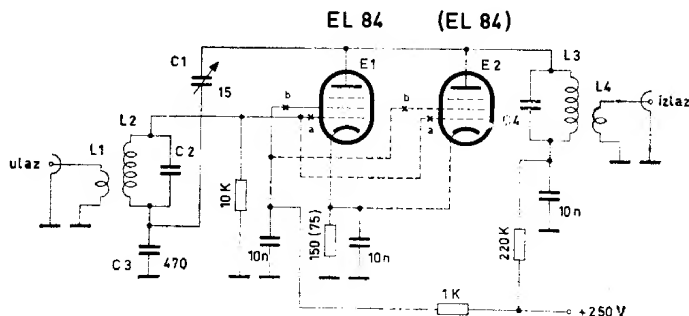
Najjednostavnije kratkovalno *linearno pojačalo* snage za sve vrste signala sa elektronskom cijevi EL84

može se sagraditi tako da ona radi u *klasi A*, prema sl. 11-73.

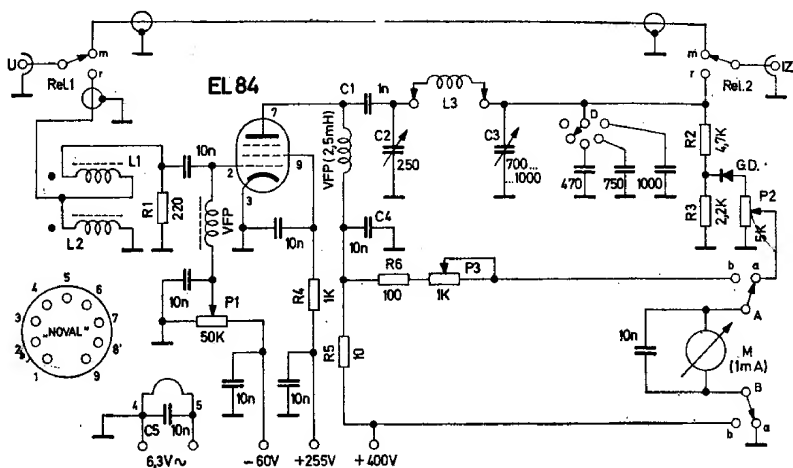
Na ulaz ovog pojačala dovodi se kratkovalni signal, npr. iz nekog tranzistorskog predajnika manje snage. Titrajni krug L_2C_2 mora resonirati na frekvenciju signala koji želimo pojačati. Kondenzatori C_1 i C_2 služe za neutralizaciju. Budući da je izlazni titrajni krug, L_3C_3 , ugođen na istu frekvenciju kao i ulazni krug, moglo bi preko unutrašnjih kapaciteta cijevi — osobito kod viših frekvencija — doći do samopobuđivanja pojačala. Zbog toga je neutralizacija neophodna. Sa jednom cijevi EL84 može se postići izlazna snaga od 4 do 5 W.

Trebamo li veću izlaznu snagu, možemo dvije EL84 spojiti paralelno. Pri tome moraju podnožja cijevi biti montirana jedno uz drugo i treba ih tako orijentirati da se istovrsne elektrode mogu međusobno spojiti *najkraćim putem* (anoda sa anodom, katoda sa katodom, *b* sa *b*, *a* sa *a*, i tako redom). Na mjestu koja su označena slovima *a* i *b* mogu se dodati serijski otpornici i to: kod *a* oko 500 Ω , kod *b* 50 do 100 Ω . Razumije se da će, ako cijevi spojimo paralelno, opet biti potrebno izvršiti pravilnu neutralizaciju. Izlazna snaga može doseći blizu 10 W.

Možda će nekome izgledati »nesavremeno«, ali u časopisu QST (7/1979) je amater VE6EA opisao



Sl. 11-73. Linearno VF pojačalo s jednom ili s dvije pentode EL84



Sl. 11-74. Kratkovalno, linearno pojačalo sa EL 84 za INPUT od 20 W. Opis u tekstu

izlazno kratkovalno pojačalo u kojemu je upotrebio također EL84. Način je sasvim »savremen«. Da se o tome uvjerimo treba samo pažljivo pogledati sl. 11-74.

Ulazna i izlazna priključnica spojene su jedna s drugom, dok je pojačalo isključeno. Ako relejima Rel. 1 i Rel. 2 uključimo ovaj PA, vidimo da ulazni signal dolazi na širokopojasni transformator sa zavojnicama L_1 i L_2 . One su bifilarno namotane na feritnom prstenu. Imaju oko 12 zavoja dvostruke žice koja je prije motanja upređena tako da na svaki centimetar upređenog para ima 3 do 4 »koraka«. Feritni prsten neka ima promjer između 12 i 15 mm. Obje žice su spojene u seriju. Ovako spojene žice osiguravaju širokopojasnu transformaciju impedancije u odnosu 1:4. Ako je ulazna impedancija predviđena za 50 Ω , treba ulazni transformator »zaključiti« s otpornikom od 200 Ω (R_1). To mogu biti i dva otpornika po 100 Ω /1 W, spojena u seriju ili jedan otpornik od 200 Ω /2 W. Nećemo mnogo pogrešiti ako stavimo otpornik od 220 Ω /2 W.

Neutralizacije ne treba, ako smo se pobrinuli da visokofrekventne prigušnice VFP na ulazu i na izlazu cijevi ne budu istog tipa.

Kondenzator C_1 (1 nF) mora biti građen za radni napon od najmanje 1500 V. Na izlazu pojačala je Collins-filter s kondenzatorima C_2 i C_3 . Kapacitet C_3 može se, ako je potrebno, povećati dodavanjem fiksnih vrijednosti triju kondenzatora, 470, 750 i 1000 pF. Ovi moraju biti građeni za radni napon od najmanje 500 V. Zavojnica L_3 može se mijenjati. Za svaki kratkovalni opseg je potrebno načiniti posebnu zavojnicu. Otpornici R_2 i R_3 , sa diodom GD, omogućuju kontrolu izlazne snage na mjernom instrumentu M. Osjetljivost pokazivanja regulira se potencijometrom P_2 .

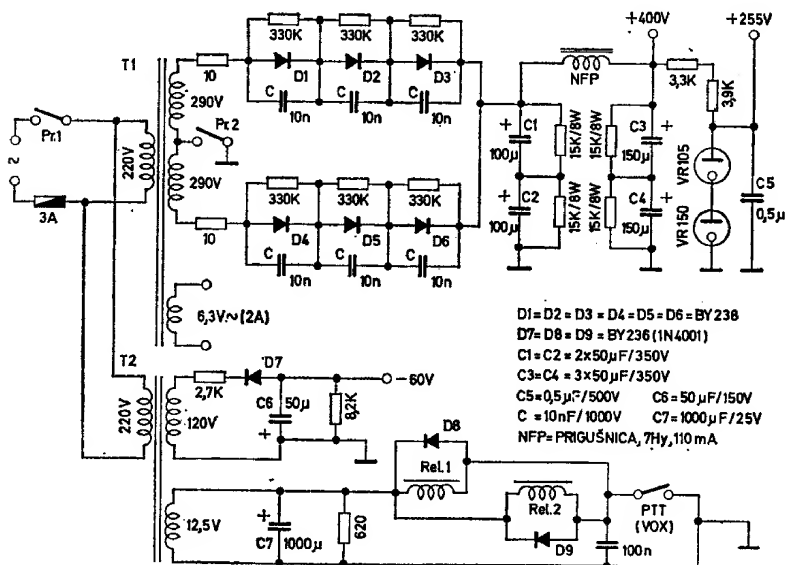
Istim mjernim instrumentom, M, mogu se promatrati i promjene anodne struje. Kad je preklopnik A/B u položaju b, treba potencijometrom P_3 osigurati da M ima pun otklon kod 100 mA. Anodna struja dosiže oko 50 mA, najviše 55 mA.

Napone za njegov rad i potrebnu struju možemo crpiti iz isprav-

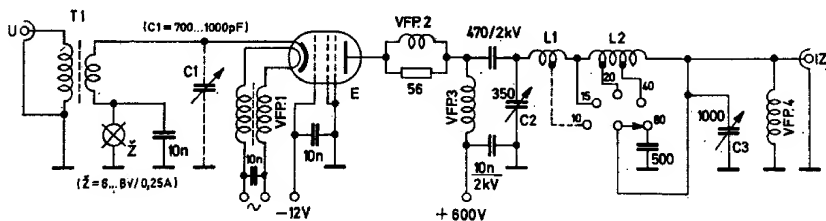
ljača, kao što je onaj na sl. 11-75. Ovaj ispravljač daje stabilizirani napon od 255 V za drugu mrežicu cijevi, 400 V za anodni napon i negativni prednapon od 60 V. Prednapon se dovodi na pravu mjeru potencijetrom P_1 tako da mirna anodna struja cijevi ne bude jača od 15 mA. Za vrijeme rada anodna struja naraste malo preko 50 mA (kod telegrafije), što znači da se postiže INPUT od više nego 20 W. Izlazna snaga je blizu 15 W.

Ispravljač daje i napone za uključivanje releja, kao i napon za grijanje elektronske cijevi.

Sličan aperiodski ulazni transformator ima i jači izlazni stupanj koji je shematski prikazan na sl. 11-76. Dva feritna prstena, promjera 15 mm, postavljena jedan uz drugi, nose obje zavojnice. Primarna ima 35 zavoja (žica 0,4 mm, CuL), dok sekundarna ima 17 zavoja (žica 0,5 mm, CuL), namotanih preko primarne zavojnice. Transformacija je naniže. To je potrebno zbog niske ulazne impedancije katodnog strujnog kruga kod cijevi koje rade kao GG-pojačalo. Druga i treća mrežica su direktno uzemljene. Na prvu mrežicu treba dove-



Sl. 11-75. Ispravljački dio koji je namijenjen za pogon linearnog pojačala, sl. 11-74



sti negativan prednapon za rad u klasi AB. Ona je kapacitivnim putem, preko 10 nF, također uzemljena za visoke frekvencije.

U anodnom strujnom krugu je Collinsonov PI-filtr. Prema YU2NX, koji je s ovim *kratkovalnim* PA eksperimentirao, zavojnica L_1 , namotana s promjerom od 2,5 cm, imala je ukupno 5,5 zavoja (žica 2 mm, CuL). Imala je odvojak iza trećeg zavoja. Zavojnica L_2 bila je namotana na feritnom prstenu »T-200« sa 26 zavoja (žica 1 mm, CuL) sa odvojcima iza 13. i 22. zavoja. Ona može biti namotana i bez feritne jezgre, na valjku promjera oko 6 cm, ali onda zauzima više mjesta.

U strujnom krugu grijanja cijevi nalazi se bifilarno motana prigušnica VFP.1. Ona je namotana na komadu feritnog antenskog štapa i ima 2×50 zavoja, jedan uz drugi, žicom 0,8 mm, CuL. Prigušnica VFP.2 ima 5 zavoja na otporniku od 56 Ω . VFP.3 je od 2,5 mH, kao i VFP.4, ali VFP.3 mora biti načinjena iz deblje žice, jer je jače opterećena.

Elektronska cijev je bila QE 05/40 ili 6146B. Ona može, uz anodni napon od 600 V, dati izlaznu snagu oko 50 W. Za pojačanje SSB-sigнала može se napon povećati do 900 V. Izlazna snaga postaje veća, ali je lako preteriti cijev.

Na sličan način mogu se upotrebiti i druge elektronske cijevi.

Nekoliko tranzistorskih kratkovalnih izlaznih stupnjeva

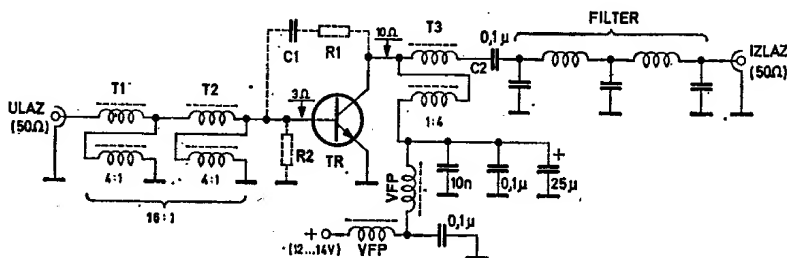
Pretpostavimo da tranzistor TR, sl. 11-77, može dati izlaznu snagu do 7 W, uz napon napajanja od 12 do 12,5 V. Izlazna snaga ovisi o pobudi koja nije uvijek jednako jaka. I napon napajanja može biti promjenljiv, osobito kod prenosnih ili prevoznih stanica. Zato je i impedancija koju izračunavamo kao:

$$R = \frac{U^2}{2 P_o}$$

gdje je U napon napajanja, a P_o izlazna snaga, prilično neprecizna veličina. Za praksu se ona može malo »zaokružiti«. Tako dobijemo vrijednost oko 10 Ω . Za ulaznu impedanciju takvih tranzistora tvornički podaci daju vrijednost oko 3 Ω .

Ako nam je potreban dodatni izlazni stupanj, npr. iza nekog KV predajnika male snage koji ima izlaz prilagođen za opterećenje od 50 Ω , moramo i dodatni PA načiniti tako da impedancija na njegovom ulazu bude također 50 Ω .

Danas se tranzistorska pojačala VF snage redovito grade kao širokopolasna. Širokopolasnost možemo osigurati feritnim transformatorima s kojima smo se već ranije upoznali. Ako upotrebimo dva takva transformatora, koji svaki transformira impedanciju u omjeru 4:1 (omjer broja zavoja 2:1), po-



Sl. 11-77. Tranzistorski izlazni stupanj za telegrafiju, u klasi C. Na izlazu mora biti uključen filter. Opis u tekstu

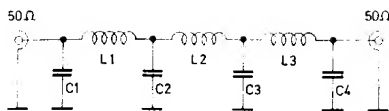
stići ćemo ukupan omjer $16:1$. Pomnožimo li 3 sa 16 izlazi 48, što je dovoljno blizu vrijednosti od $50\ \Omega$.

Izlazna impedancija je oko $10\ \Omega$. Upotrebimo li na izlazu još jedan takav širokopojasni VF transformator, ali sada tako da transformira *naviše*, postići ćemo da se impedancija transformirala na $40\ \Omega$. Malo veći napon uz malu promjenu pobude možda poveća optimalno opterećenje tranzistora na $12,5\ \Omega$. Onda bi transformacija dala traženu vrijednost od $50\ \Omega$. Budući da je i sama formula samo približna, u praksi nema smisla previše »cjepidlačiti«. Smatrat ćemo da je takva transformacija impedancije dosta dobra, barem toliko dobra da filter, koji na izlazu *moramo* uključiti, može biti napravljen za ulaznu i izlaznu impedanciju od $50\ \Omega$.

Takav filter je lako izračunati na temelju tablica na str. 781. Na sl. 11-77 nacrtan je *peteročlani* filter. Još bolji bi bio *sedmeročlani* filter, prema sl. 11-78. Tu su vrijednosti sastavnih dijelova izračunate malo drukčije nego što bi se dobilo primjenom tablica. Tablice često daju »uglaste vrijednosti« kapaciteta koje treba sastavljati od većeg broja kondenzatora. Vrijednosti na sl. 11-78 odabrane su tako da se mogu uzeti kondenzatori postojećih, normalnih vrijednosti. *Takav filter vrijedi za bilo koji tranzistor-ski izlazni stupanj*, bez obzira na snagu. Jedino na što treba paziti kod većih snaga je izdržljivost kondenzatora za napone koji se javljaju u izlaznim strujnim krugovima, kao i na to da zavojnice budu načinjene s dovoljno debelom žicom, da se ne griju.

Ukoliko nam takvo pojačalo treba za telegrafiju (ili za FM), ono može raditi u klasi C i ne treba poseban prednapon na bazi. Ukoliko bi se pojavilo samoosciliranje, može se dodati R_1 ili R_2 . O tome je već bilo govora ranije.

Izlazno KV pojačalo, prema shemi na sl. 11-79, zamišljeno je kao

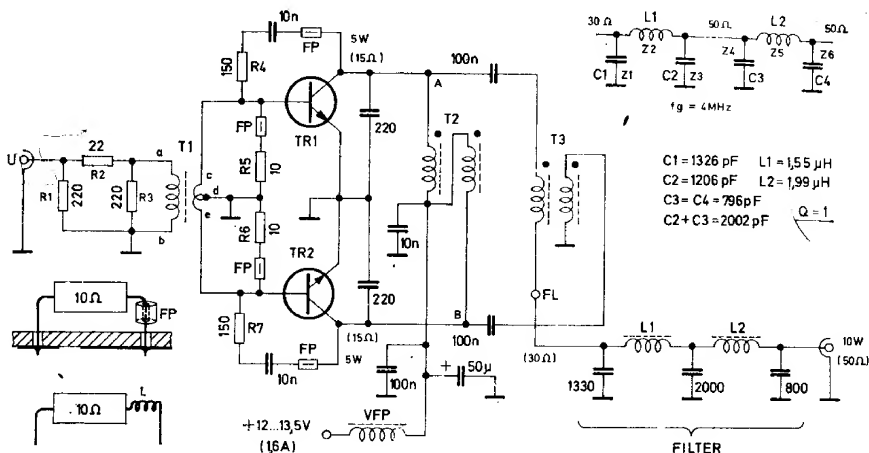


OPSEG MHz	Fg MHz	SWR	C1=C4 pF	C2=C3 pF	L1=L3 μH	L2 μH
3,5	4,1	1,07	560	1300	2,62	3,13
7	8	1,08	300	680	1,37	1,62
14	15,2	1,09	160	360	0,72	0,85
21	21,7	1,06	100	240	0,49	0,59
28	36,9	1,10	68	150	0,30	0,36

Sl. 11-78. Sedmočlani filter sa podacima za pet glavnih amaterskih kratkovalnih opsega

dodatak predajniku sa sl. 11-71 ili nekom drugom koji ima sličnu izlaznu snagu. Tranzistori TR_1 i TR_2 neka budu, npr. 2N5642 ili slični. Glavno je da tranzistor omogućuje pojačanje snage za 7 do 9 dB i da može dati izlaznu snagu oko 5 W. Takvim tranzistorima je ulazna impedancija između 2,5 i 3 Ω . Ako želimo da nam dva tranzistora daju ukupno oko 10 W, potrebno je da pobuda dosegne 2 W (uz pojačanje od 7 dB), odnosno 1,25 W (uz pojačanje od 9 dB). Kad bismo imali na raspolaganju jaču pobudnu snagu ili kad bi tranzistori mogli dati veće pojačanje (možda 10 ili 11 dB) bilo bi potrebno na ulazu staviti attenuator (R_1 , R_2 i R_3). Ako nemamo takav višak pobudne snage, attenuator ne treba. Onda ćemo na ulaz (U) izravno spojiti pobudni predajnik.

Obzirom na otpornike po 10 Ω , s kojima je prigušen ulazni strujni krug tranzistora, možemo očekivati da će ulazna impedancija tranzistora biti manja od 3 Ω . Nećemo pogrešiti ako transformator T_1 načinimo s omjerom broja zavoja 3:1. To daje omjer impedancija 9:1. Tako ćemo ulaznu impedanciju od 50 Ω transformirati na 5,5 Ω za oba tranzistora.



Sl. 11-79. Izlazno tranzistorsko pojačalo u protufaznom spoju. Radi u klasi C i daje izlaznu snagu od 10 W. U tekstu je primjer izračunavanja elementarnata izlaznog filtera za prilagođenje na 50-omsku impedanciju antenskog priključka. Podaci o transformatoru T_1 su u tekstu. T_2 je namotan sa 8 bifilarnih zavoja (žica 0,6 mm, CuL, upredena) na jezgri, sastavljenj od dva feritna prstena, $\varnothing = 12,5$ mm. $T_3 = T_2$

Od potrebnih 10 W izlazne snage neka svaki tranzistor daje po 5 W. Izlazna impedancija se (za 12,25 V na kolektorima) može izračunati na već poznati način. Ona je 15Ω za svaki tranzistor ili 30Ω od kolektora do kolektora. Toliko iznosi i izlazna impedancija. Ne bi bilo dobro da se na tih 30Ω impedancije priključi 50-omski antenski kabel. *Potrebno je prilagođenje.* Budući da se u svakom slučaju mora upotrebiti izlazni filter, nastojat ćemo da to postignemo pomoću njega. To znači da *ulazna impedancija filtera mora biti 30Ω , a izlazna impedancija 50Ω .*

Da bismo mogli izračunati vrijednost kapaciteta i induktiviteta u filteru moramo prethodno odabrati *graničnu frekvenciju*. Pojačalo radi u klasi C i predviđeno je za rad telegrafijom u opsegu od 3,5 do 3,6 MHz. Kao graničnu frekvenciju možemo dakle uzeti 4 MHz. Sam filter je predviđen kao peteročlani. Za lakše računanje možemo ga rastaviti u dva dijela, prema skici na sl.

11-79, gore, desno. Desna polovica filtera je simetrična, dok lijeva polovica nije.

Uz pretpostavku da je Q-faktor = 1, impedancije kapaciteta i induktiviteta u desnoj polovici filtera međusobno su jednake i iznose po 50Ω .

$$Z_1 = R_{C_3} = 50 \Omega; \quad Z_5 = R_{L_2} = 50 \Omega; \\ Z_6 = R_{C_4} = 50 \Omega$$

Ovdje vidimo da su impedancije Z_4 i Z_6 kapacitivni otpori. Z_5 je induktivan otpor. Izračunamo ih primjenom poznatih formula:

$$C \text{ (pF)} = \frac{1\,000\,000}{2\pi \times f_g \text{ (MHz)} \times R_C \text{ (}\Omega\text{)}},$$

$$L \text{ (}\mu\text{H)} = \frac{R_L}{2\pi \times f_g \text{ (MHz)}}$$

Za transformaciju impedancije od 30Ω na 50Ω vrijede relacije:

$$Z_1 = 30 \Omega; \quad Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot 50} = 39 \Omega;$$

$$Z_3 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} = 34 \Omega$$

Impedancija Z_1 pripada kondenzatoru C_1 , pa je $Z_1 = R_{C_1}$. Impedan-

cija Z_2 pripada zavojnici: $Z_2 = R_{L1}$. Konačno je i $Z_3 = R_{C3}$.

Izračunali smo već vrijednosti impedancija, $R_{C1} = 30 \Omega$, $R_{L1} = 39 \Omega$ i $R_{C3} = 34 \Omega$, pa otuda izračunamo još i vrijednosti odgovarajućih kapaciteta i induktiviteta. Rezultat je napisan i na sl. 11-79:

$$C_1 = 1326 \text{ pF}, C_2 = 1206 \text{ pF}, \\ C_3 = C_4 = 796 \text{ pF}, L_1 = 1,55 \mu\text{H}, \\ L_2 = 1,99 \mu\text{H}; C_2 + C_3 = 2002 \text{ pF}$$

Ove vrijednosti kapaciteta može mo malo zaokružiti i sastaviti ih iz vrijednosti za normalne kondenzatore. Tako će prvi kapacitet filtera biti sastavljen od dva kondenzatora: $1000 + 330 = 1330 \text{ pF}$; drugi kapacitet također od dva kondenzatora: $1000 + 1000 = 2000 \text{ pF}$; treći kapacitet opet od dva kondenzatora: $470 + 330 = 800 \text{ pF}$.

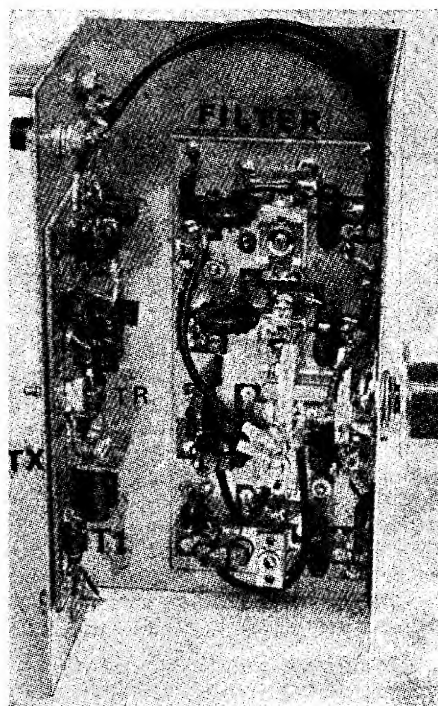
Kratkovalno izlazno pojačalo, sl. 11-79, je širokopojasno. To znači da se može upotrebljavati za bilo koji amaterski opseg između 3,5 i 30 MHz. Razumije se, da za svaki opseg mora postojati poseban filter. Granična frekvencija im mora biti malo iznad gornje granice opsega, otprilike za 10% do 15% viša. Zavojnice mogu biti bilo kakvog oblika. Induktivitet im je najbolje odrediti pomoću dip-metra. One ne smiju jedna na drugu induktivno djelovati. Između njih može biti metalna pregrada ili se mota na prstenaste jezgre (»toroide«).

Da se u pojačalu ne bi pojavljivale neželjene oscilacije potrebno je dodati otpornike R_4 i R_7 (po 150Ω) i R_5 i R_6 (po 10Ω). Dodatak feritnih zrnaca FP sprječava pojavu oscilacija na vrlo visokim frekvencijama. Umjesto FP može se načiniti i minijaturna zavojnica od 2 do 3 zavoja od one žice koja je izvod na samom otporniku!

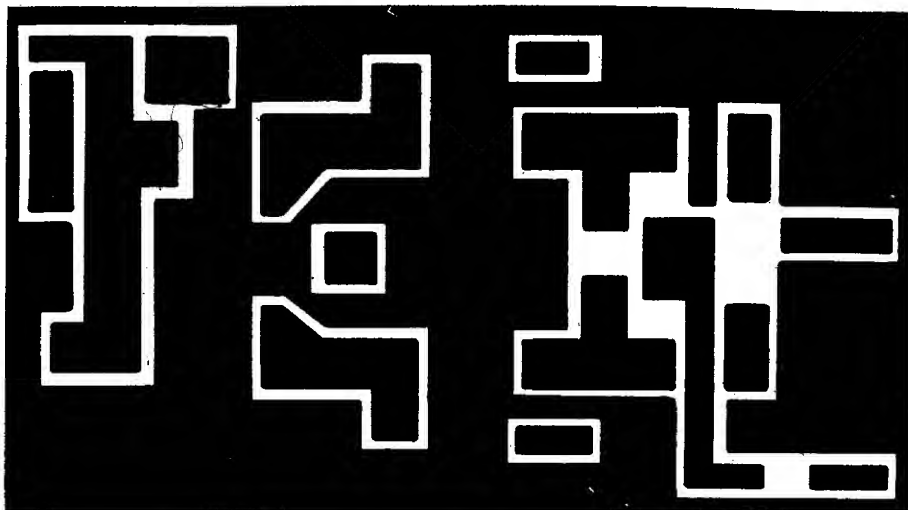
Kondenzatori od po 220 pF, kojima je kolektor »blokirana« prema uzemljenim emiterima, također one mogući pojavu »divljih« oscilacija. Oni ne utječu bitno na rad pojačala na kratkovalnim opsezima.

Pogled na vrlo sličan uređaj, kako ga je načinio WIFB (QST, 4/1979), omogućuje sl. 11-80. Desno je takav izlazni stupanj (TX , s tranzistorima kod TR . Posebno dobro se vidi VF transformator T_1). Filter je bio načinjen za četiri kratkovalna opsega i on zauzima više mjesta. U uređaj je ugrađen i valni preklopnik s kojim se preklapaju samo izlazni filteri, ovisno o opsegu.

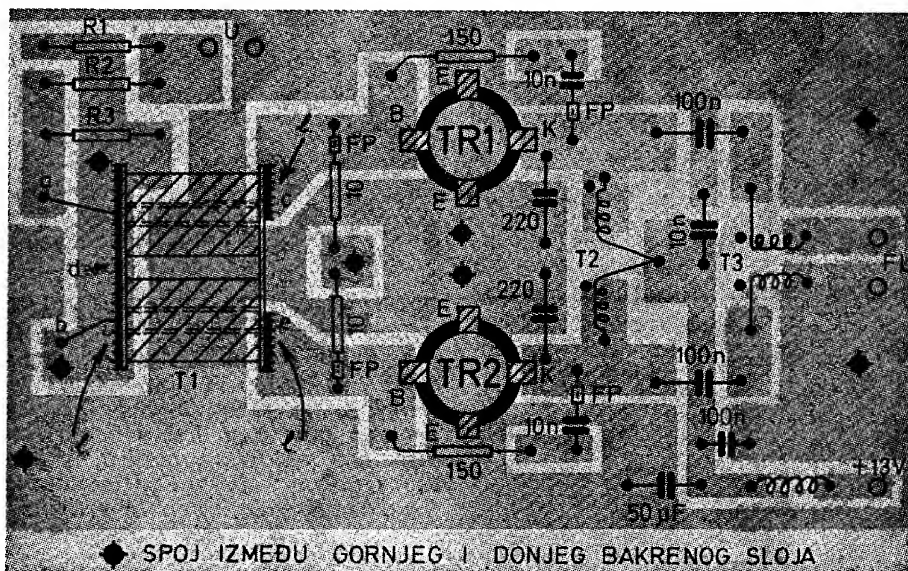
Stampana pločica je s obje strane kaširana bakrom. Na gornjoj strani su oblici bakrenog sloja, koji se vide na sl. 11-81. Donja strana ima netaknut bakreni sloj. Na gornjoj strani pločice montiraju se svi



Sl. 11-80. Pogled u unutrašnjost li-mene šasi-je u kojoj je smješten izlazni stupanj prema sl. 11-79. Filter za četiri KV opsega zauzima više prostora od samog predajnog dijela (TX). T_1 je širokopojasni ulazni transformator. Kod TR su tranzistori



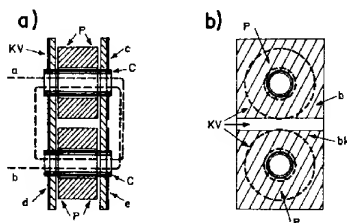
Sl. 11-81. Izgled pločice od vitroplasta koja je bakrom kaširana sa obje strane. Ovo je gornja strana pločice na koju će biti montirani svi sastavni dijelovi. Crna polja predstavljaju preostali dio bakrenog sloja. Stražnji sloj bakra ostaje nepromijenjen. Veličina pločice neka bude 125 × 69 mm



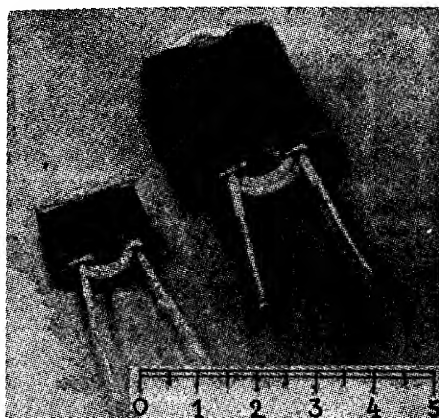
Sl. 11-82. Raspored sastavnih dijelova na prednjoj strani pločice. Posebno su označena mjesta na kojima treba načiniti direktan spoj između gornjeg i donjeg bakrenog sloja. Malim slovom l označena su mjesta uzduž kojih je transformator T_1 zalemljen na bakar pločice

sastavni dijelovi. Njihov raspored je označen na sl. 11-82. Na mjestima koja su označena zvjezdicom treba probušiti rupicu, provući bakrenu žicu i zalemiti je s jedne i s druge strane. Na tim mjestima se na taj način postiže *direktan spoj između gornjeg i donjeg bakrenog sloja*. Ovo je važno načiniti da se osigura stabilan rad pojačala.

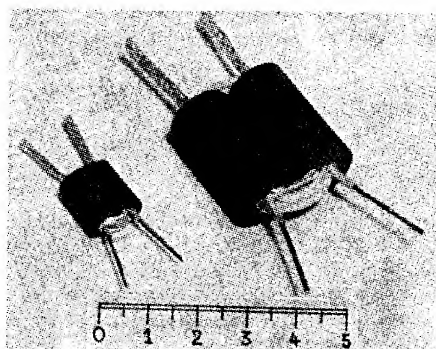
Širokopojasni VF transformator T_1 može se načiniti tako da se dva i dva feritna prstena, vanjskog promjera oko 12 mm, međusobno slijepe i stave između vitroplastovih, bakrom kaširanih pločica, načinjenih prema sl. 11-83. Kroz te pločice i kroz prstene mogu se provući mjedene cjevčice sa tankom stijenkom. One se na svojim krajevima zaleme na bakreni sloj. Ovaj je s jedne strane potpun, a s druge je rastavljen u dva dijela. Tako je ostvaren jedan zavoj, onaj niže impedancije. »Krajevi« c i e , kao i njegova sredina d su na bakrenim oblozima.



Sl. 11-83. Širokopojasni transformator T_1 (za KV pojačalo, sl. 11-79) načinjen je sa ukupno četiri feritna prstena. Dva i dva su jedan uz drugi. Oba para prstenova P smješteni su među komadiće kaširanog vitroplasta (KV) tako da je bakreni sloj (bk) izvana. Mjedena ili bakrena cjevčica C , koja ima tanku stijenku, spaja obje vitroplastne stranice, prolazeći kroz feritne jezgre. Na jednoj stijenci je bakreni sloj raspolovljen (vidi skicu b) tako da se formira zavoj sa krajevima c i e . Njegov srednji priključak je d . Krajevi žice a — b pripadaju primarnoj zavojnici

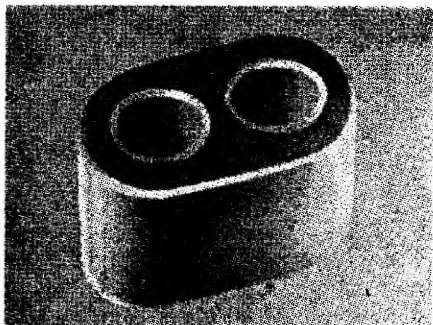


Sl. 11-84. Izgled feritnih širokopojasnih transformatora, prema sl. 11-83. Manji od njih je za manje, a veći transformator za veće snage. Nacrtna skala je u centimetrima



Sl. 11-85. Ovaj oblik feritnih širokopojasnih transformatora načinjen je bez dodatnih stranica od vitroplasta i bez metalnih cjevčica. Umjesto toga je kroz slogove feritnih prstena provučen jedan zavoj, od metalnog oklopnog pletiva, skinutog s nekog kabla. Centimetarska skala omogućuje ocjenu veličine

Primarna zavojnica, s krajevima a i b , načini se tako da se kroz mjedene cjevčice provuče izolirana žica (0,5 mm, Cu/PVC) i namota 3 zavoja. Kad je gotovo, ima izgled prema sl. 11-84. Manji transformator je



Sl. 11-86. Za manje snage može se širokopojasni transformator namotati na ovakvu feritnu jezgricu. Ona inače služi u nekim televizijskim konvertorima za prilagođenje impedancija

za ovakve manje snage. Onaj veći je za veće snage.

Umjesto mjedenih cjevčica može se kroz prstenove provući metalno pletivo koje je skinuto s nekoj oklopljenog kabela manjeg vanjskog promjera, kao na sl. 11-85. Tu su opet dva takva transformatora, jedan za manje i drugi za veće snage.

Za transformator T_1 koji se ne opterećuje sa više od 2 W, moglo bi se upotrebiti i dvije feritne jezgrice s po dvije rupice, kao ona na sl. 11-86. Dvije takve jezgrice treba spojiti zajedno i namotati 1 + 3 zavoja na opisani način.

Podaci za namatanje transformatora T_2 koji služi za simetriranje izlaza, kao i za T_3 u kojemu se zbrajaju izlazne snage jednog i drugog tranzistora, navedeni su u legendi ispod sl. 11-79.

Linearna kratkovalna snažna pojačala

Dosad opisani tranzistorski izlazni stupnjevi radili su u klasi C. Njih se unutar kratkovalnih amaterskih opsega može koristiti samo za telegrafiju. Za SSB-signale, kod kojih se snaga neprestano mijenja od

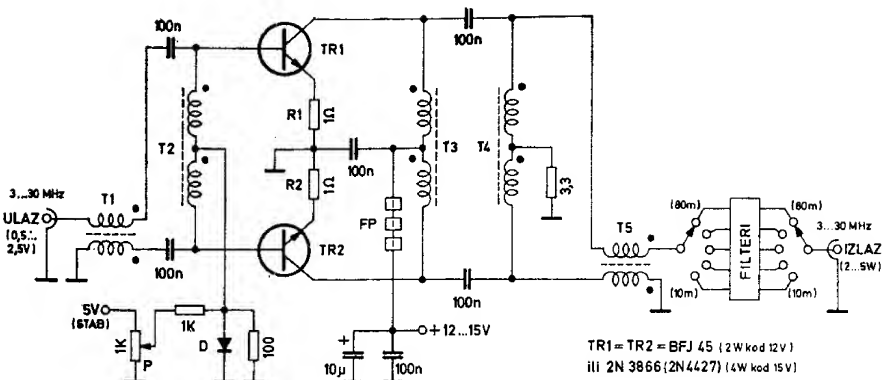
vrlo malenih do najvećih amplituda, potrebno je da pojačalo snage radi u klasi AB ili B. Kod tranzistora je to redovito u klasi AB. Samo tako je moguće postići linearno pojačanje. To znači da izlazni signal vjerovatno slijedi sve promjene ulaznog signala.

Za osiguranje linearnog režima rada pojačala potrebno je da tranzistorova baza dobije malen prednapon. On mora biti dovoljan da se tranzistor malo otvori i da stalno, i onda kad nema signala, teče slaba kolektorska struja. Kako se to postiže u praksi, pokazat ćemo na nekoliko primjera.

Shema na sl. 11-87 pripada izlaznom stupnju u svijetu popularnog primopredajnika male snage, poznatog pod imenom »Argonaut«. Tranzistori su 2N2631. Za one koji bi željeli sami graditi takav tranzistorski stupanj treba navesti i neke druge tranzistore koji bi se mogli upotrebiti na isti način. To su naši domaći: BFJ 45, BC 141, 2N2219, 2N3866 i 2N4427. Prva tri tipa mogla bi dati oko 1,5 W izlazne snage kod 12 V; zadnja dva oko 3 W kod 15 V pogonskog napona. Originalni tranzistori daju kod 12 V otprilike 2,5 W efektivne snage ili, kod SSB-telefonije, vršnu snagu (PEP = Peak Envelope Power) do 5 W.

Potreban pozitivni prednapon na bazama ovih N-P-N tranzistora postiže se strujom iz stabiliziranog izvora napona (5 V) koja protiče silicijevom diodom D. Pad napona na toj diodi je, ovisno o jakosti struje koja kroz nju teče, između 0,6 i 0,9 V, a može se pravilno odmjeriti pomoću potenciometra P. Stabilnosti radne tačke doprinose i emiserski otpornici R_1 i R_2 . Zajednička mirna kolektorska struja za oba tranzistora neka bude dvadesetak miliampera, tek tolika da bude osigurano pojačanje SSB-signala bez izobličenja.

Visokofrekventni transformatori su bifilarno motani na jezgrama od ferita, prstenastog oblika. Po jedan prsten je sasvim dovoljan za T_1 i T_2 ,



Sl. 11-87. Shema izlaznog stupnja u poznatom malom primopredajniku »Argonaut«, za kratkovalne opsege između 3,5 i 30 MHz. Ovaj stupanj radi u klasi AB. Radni prednapon je osiguran diodom D i može se regulirati potencijetrom P. Opis i podaci o VF transformatorima u tekstu

ako mu je promjer oko 12 mm. Mogla bi se upotrebiti i jezgra od ferita, kao na sl. 11-86. Bifilarno treba namotati po 2×20 zavoja, žicom 0,3 mm CuL.

Transformatori T_3 , T_4 i T_5 nešto su veći. Treba uzeti po dvije feritne toroidalne jezgre promjera oko 12 mm i sastaviti ih. Žica 0,5 mm, CuL, bifilarno se namata na tako dobivene toroide dvostrukog presjeka. Potreban broj zavoja iznosi po 2×15 zavoja.

Na shemi su tačkicama označeni počeci bifilarnog namotaja pa ih treba tako spojiti, kako je nacrtano.

Ulazna i izlazna impedancija su 50-omske. Potrebno je toliko filtera koliko imamo valnih opsega za rad predajnika. Dvopolnim valnim preklapnikom može se izabrati onaj filter koji nam upravo treba. Dimenzioniranje filtera može biti prema podacima na sl. 11-78.

Kratkovalni primopredajnik »YAESU FT-7« također je dobro poznat. Malen je i vrlo dobar za mobilan i za stacionaran rad. Na sl. 11-88 je shema triju stupnjeva linearnog pojačala u predajnom dijelu snažnije verzije tog primopredajnika. Oznaka mu je »FT-7B«.

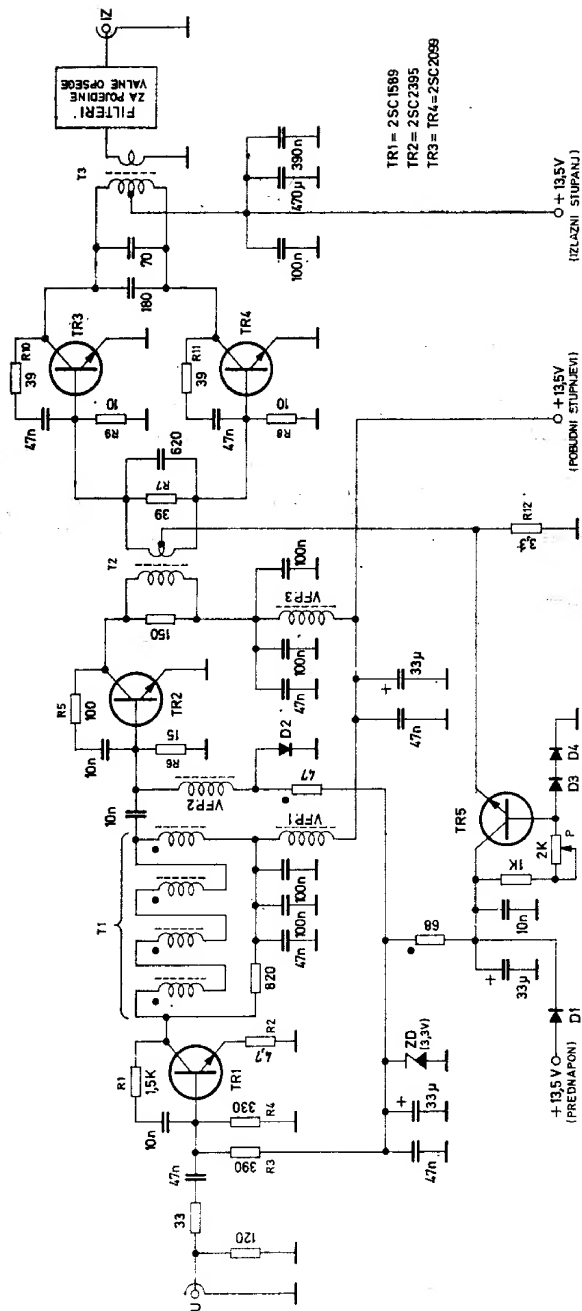
Sva tri stupnja na shemi (sl. 11-88) rade u klasi AB. Tranzistor

TR_1 dobiva potreban mali prednapon razdjelnikom R_3/R_4 iz stabilnog napona 3,3 V koji se postiže Zenerovom diodom ZD. Za stabilan rad prvog stupnja primijenjena je negativna povratna veza otpornicima R_1 i R_2 .

Između prvog i drugog stupnja je širokopojasni transformator T_1 koji impedanciju transformira u omjeru 16 : 1. Radna tačka tranzistora TR_2 osigurana je diodom D_2 . To je silicijeva dioda koja se u svom propusnom smjeru napaja iz strujnog kruga Zenerove diode ZD. Protiv neželjenih oscilacija stupanj je zaštićen otpornicima R_5 i R_6 . Pomoću R_5 je izvedena negativna povratna veza, dok R_6 prigušuje ulaz tranzistora TR_2 .

Treći stupanj linearnog pojačala ima dva tranzistora, TR_3 i TR_4 , koji rade u protufaznom, »puš-pul« spoju. T_2 je ulazni prilagodni transformator. Izlazni transformator je označen kao T_3 .

Otpornik od 150 Ω kojim je premoštena primarna zavojnica transformatora T_2 , zatim otpornici R_7 , R_8 i R_9 , osiguravaju širokopojasnost, dok R_{10} i R_{11} služe za negativnu povratnu vezu. Potreban prednapon za linearno pojačavanje daje ovom stupnju tranzistor TR_5 . Potenciome-





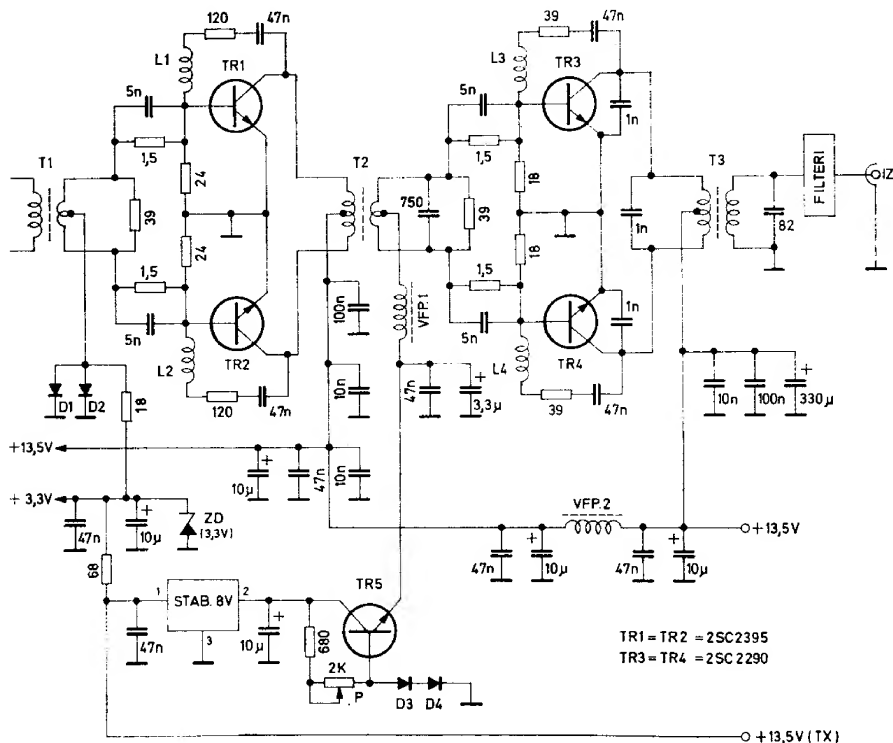
Sl. 11-89. Vanjski izgled primopredajnika »FT-707« koji obuhvata sve kratkovalne opsege za amaterski rad, uključujući i one najnovije kod 10, 18 i 24 MHz. Unatoč svojim vrlo malenim dimenzijama ($93 \times 240 \times 295$ mm) razvija izlaznu snagu do 100 W

tar P regulira jakost struje koja teče kroz silicijevu diodu D_3 i D_4 . O padu napona na tim diodama ovisi

koliki će biti napon na otporniku R_{12} . Taj je napon i uz promjenljivo opterećenje strujama baze tranzistora TR_3 i TR_4 konstantan. Pažljivom čitatelju neće izbjći to da je sklop za stabilizaciju s tranzistorom TR_5 u principu isti kao i neki sklopovi za stabilizaciju napona koje smo upoznali u poglavlju o izvorima električne energije.

Prije nego se pojačani signal odvede na izlaz IZ i dalje u antenu, on mora proći kroz filtere. Za svaki valni opseg predviđen je poseban filter koji prigušuje sve više harmonične frekvencije.

Na sl. 11-89 također je jedan od naših dobrih znanaca. To je primopredajnik »FT-707« koji unatoč svoje vrlo male mase (2 kg!), u kutiji malih dimenzija ($23,8 \times 5,5 \times 18$ cm), omogućuje rad telegrafijom



Sl. 11-90. Pobudni i izlazni stupanj odašiljačkog dijela u primopredajniku »FT-707« (sl. 11-89) konstruktivno su vrlo zanimljivi. Opis u tekstu

(CW) i telefonijom (SSB i AM) na svim dosadašnjim opsezima (3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 21 MHz i 28 MHz) kao i na novima (10 MHz, 18 MHz i 24 MHz) za koje se uskoro očekuje odobrenje rada i YU-amaterima. Postoje dvije varijante: jedna sa maksimalnom izlaznom snagom oko 10 W i druga oko 100 W. Sve je »tranzistorizirano«. Posebno je zanimljiv 100-vatni *izlazni dio predajnika*. Zato taj dio donosimo na sl. 11-90.

Posljednja dva stupnja u predajnom dijelu uređaja »FT-707« imaju ukupno 5 tranzistora. TR_1 i TR_2 su u pobudnom stupnju. Njihova radna tačka određena je diodama D_1 i D_2 . Budući da se ovdje očekuju jače struje baze, *dioda su spojene paralelno*. Samo jedna dioda na to mjestu bila bi preterana. Osim otpornika za osiguranje širokopojasnosti pojačanja i zaštitu od »divljih« oscilacija, tu je provedena i neutralizacija. U tu svrhu su dodane zavojnice L_1 i L_2 . Djelovanje im je izraženo kod najviših frekvencija. Tranzistori koji mogu dati znatnije izlazne snage imaju razmjerno velike kapacitete kolektora. To redovito ne smeta jer su svi VF strujni krugovi sa niskim impedancijama. Nažalost su onda i *unutrašnji »povratni« kapaciteti* (između kolektora i baze) također prilično veliki, što bi moglo kod najviših frekvencija ipak dovesti do samoošiliranja. Zavojnice L_1 i L_2 (kao i L_3 i L_4 u izlaznom stupnju!) lako rješavaju taj problem.

Prednapon za baze izlaznog para tranzistora je ovdje dvostruko stabiliziran. Najprije posebnim stabilizatorom na 8 V, a zatim tranzistorom TR_5 i diodama D_3 i D_4 na 0,6 do 0,9 V. Potencijometrom P lako se odabere takav prednapon da TR_5 i TR_4 budu *tek toliko* otvoreni, koliko je potrebno za *linearni režim rada*.

Razumije se, iza posljednjeg tranzistorskog stupnja opet slijedi potreban broj filtera, za svaki opseg posebno. Ukupan INPUT kod tele-

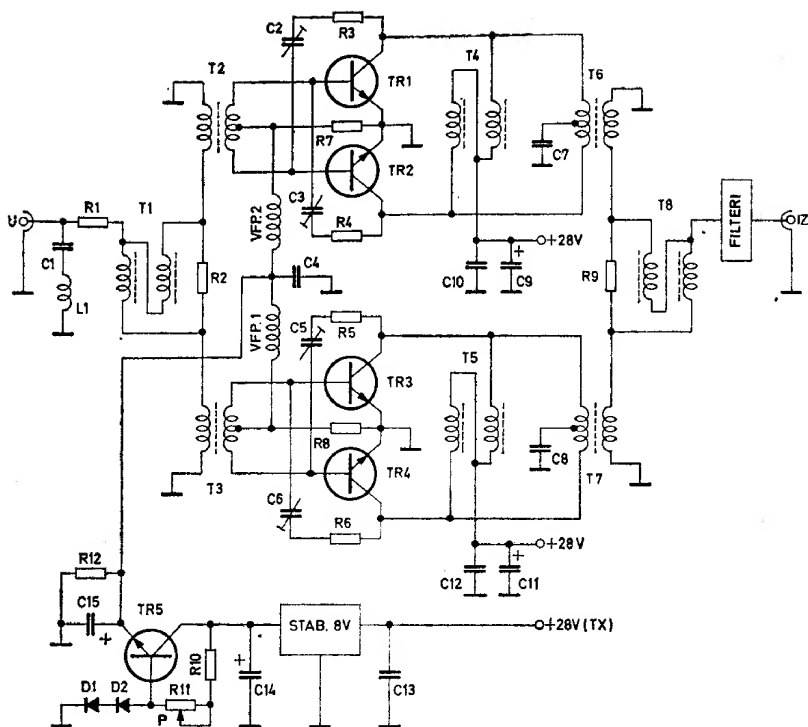
grafije (CW) i SSB-telefonije doseže 240 W. Kod rada AM (amplitudnom modulacijom) INPUT za val nosilac je 80 W. Od tih snaga se dobar dio pretvara u toplinu. Zato tranzistori takvih izlaznih stupnjeva moraju biti montirani na velike i masivne hladnjake. Dodavaju se i ventilatori za poboljšanje hlađenja.

Za još veće izlazne snage, uz uvjet da pojačanje bude linearno, teško bi bilo ostati kod pogonskih napona od 12 do 14 V. Već za predajnik, prema sl. 11-90, potrebna je struja do 20 A. Konstrukcija samog ispravljača sa dovoljno stabilnim naponom moguća je, ali nije jeftina! Ako podvostručimo napon napajanja, možemo sa jednako jakom strujom postići dvostruko veće snage. Osim toga je *lakše postići dobru linearnost pojačanja ako je pogonski napon viši*.

Izlazni linearni stupanj, koji se može svakom predajniku priključiti i kao *dodatno linearno pojačalo*, prikazan na sl. 11-91, upotrebljava ukupno 4 tranzistora od kojih su dva i dva u »puš-pul« spoju. Ulazni signal se transformatorom T_1 dijeli na dva dijela koji imaju međusobno suprotne faze. Jedan dio odlazi na transformator T_2 a drugi na transformator T_3 .

Na ulazu je serijski titrajni krug kojemu je zadaća da *ujednači pobudu* u cijelom širokom području od 3 do 30 MHz. Svi transformatori su širokopojasni, namotani na feritnim jezgrama.

Tranzistori TR_1 i TR_2 , koji pripadaju polovici izlaznog stupnja, rade u *neutraliziranom pojačalu klase AB*. Neutralizacija je postignuta na »klasičan« način: od kolektora jednog tranzistora na bazu drugoga, kao i od kolektora drugoga na bazu prvog tranzistora. Za tu svrhu služe trimerski kondenzatori C_2 i C_3 . Otpornici R_3 i R_4 osiguravaju da neutralizacija vrijedi na širem području najviših frekvencija. Transformator T_4 omogućuje simetrično napajanje tranzistora. T_5 je izlazni transformator.



Sl. 11-91. Za još veće snage mogu se u izlaznom stupnju kratkovalnih, 100% tranzistorskih, predajnika upotrebiti četiri snažna tranzistora. Vidi tekst

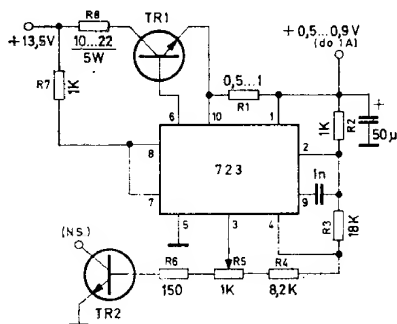
Drugi par tranzistora, TR_3 i TR_4 , rade sasvim jednako kao i TR_1 i TR_2 . Pobudu dobiju preko T_3 , neutralizirani su sa C_5 i C_6 , kolektori im se napajaju strujom preko T_5 , dok je T_7 njihov izlazni transformator.

Izlazna snaga iz T_6 i izlazna snaga iz T_7 zbrajaju se u širokopojasnom transformatoru T_8 . U antenski sistem se tako dobiveni signal velike snage može odvesti preko filtera. U svakom slučaju, bez filtera se nijedno tranzistorsko VF pojačalo ne smije spajati s antenom. Za svaki radni valni opseg mora u predajniku, kao i u linearnom, dodatnom, pojačalu postojati poseban filter.

Sva četiri tranzistora, TR_1 , TR_2 , TR_3 i TR_4 , moraju biti podjednakih

svojstava, u svakom slučaju istog tipa. Onda im se i zajednički radni prednapon može pripremiti tranzistorom TR_5 . Napon napajanja od 28 V uvodi se najprije u stabilizator i smanji na 8 V. Tranzistor TR_5 i diode D_1 i D_2 osiguravaju prednapon na već opisani način.

Ako bi strujno pojačanje tranzistora u predajniku bilo, recimo, oko 20 i ako bi takav linearni stupanj trošio u prosjeku oko 20 A s vrhovima koji su dva puta veći, morao bi TR_5 davati trajno oko 1 A, s vrhovima opterećenja do 2 A. S time svakako treba računati pri gradnji sličnih snažnih VF pojačala. Malen napon, kakav je potreban za prednapon, teško je održati konstantnim uz ovakve uvjete rada. Bolja se stabilnost prednapona može postići



Sl. 11-92. Stabilizator prednapona za vrlo snažne izlazne stupnjeve u kratkovalnim predajnicima. Stabilizirani napon se može odabrati potencijometrom R_5 u rasponu između 0,5 i 0,9 V, uz jakost struje do 1 A. Stabilnost prednapona je vrlo dobra i kod promjenljivog opterećenja, zahvaljujući integriranom stabilizatoru tipa 723. TR_1 može biti 2N3055. Ostalo u tekstu

stabilizacijom prema sl. 11-92. Tu je izvanredno pouzdan stabilizacijski integrirani sklop tipa 723. Referentni napon za njegov rad daje tranzistor TR_2 , zapravo samo njegova »dioda« između baze i emitera. Kolektor nije spojen (N. S.).

Tranzistor TR_1 omogućuje potrebno opterećenje jakim strujama, dok R_1 određuje nivo ograničenja jakosti struje. Otpornik R_7 sprječava preterivanje stabilizatora, a R_8 preterivanje tranzistora TR_1 . Za napon napajanja od 28 V i R_7 i R_8 treba da imaju otprilike dvostruku vrijednost. Treba paziti da kod najjačih struja na kolektoru tranzistora TR_1 preostane još napon oko 4 do 5 V.

Izlazni napon ovog sklopa može se mijenjati (sa R_5) između 0,5 i 0,9 V. To je sasvim dosta da se postigne bilo koja radna tačka predajnikovih izlaznih tranzistora. Oko 0,6 V prednapona na bazama dosta je za klasu B. Malo više od toga (0,65 do blizu 0,7 V) bi odgovaralo za AB-klasu pojačanja, dok bi se sa većim prednaponom moglo doći i

do uvjeta za rad u klasi A. Tada bi kolektorske struje tranzistora u predajnikovom izlaznom stupnju dosegle polovicu maksimalne jakosti, dozvoljene za izabrani tip. Tako daleko se nikad ne ide jer bi opterećenje i zagrijavanje tranzistora bili preveliki. *Normalan rad u linearnom režimu* je postignut tako da se tranzistorima osigura radna tačka za klasu AB. Koliko će to biti, ovisi o vrsti tranzistora, pa se treba držati preporuka tvornice. Ako ih nemamo, treba *mirnu struju* odabrati tako da ona bude *što manja*, uz uvjet da je rad predajnika *linearan*. Za to je potrebno oscilografsko ispitivanje i mjerenje. Važno je da se pri tome *nikada* ne pouzdamo u mjerenje *samog prednapona*! Uvijek treba *mjeriti jakost kolektorske struje* i pritom mijenjati prednapon da se postigne što treba.

Osamstovatno linearno pojačalo za kratke valove

Opis gradnje ovog linearnog kratkovalnog pojačala sa vršnom snagom od 800 W (PEP) namijenjen je konstruktorima koji već imaju bogato iskustvo u gradnji manjih kratkovalnih predajnika. Predviđeno je za rad na tri kratkovalna opsega (80, 40 i 20 m) telegrafijom ili SSB-telefonijom. Predviđena je upotreba elektronskih cijevi 6KD6 koje su inače namijenjene za otklonska pojačala u kolor-televizorima. Moglo bi se pokušati i sa evropskim cijevima EL 509 koje imaju istu namjenu. U svakom slučaju je paralelnim spajanjem takvih cijevi toliko povećan izlazni kapacitet da se ne može očekivati uredan rad na frekvencijama u 15- i 10-metarskom opsegu. Također nije moguće pojačavati ni amplitudno ni frekventno modularane signale, budući da bi se onda cijevi previše zagrijavale. Kod telegrafije i kod SSB-signalu cijevi imaju vremena da se *hlade* i da im tako temperatura elektroda i staklenog balona (!) ostane u dopuštenim granicama. I onda je ipak, za rad punom snagom, po-

Tablica 11-5. Zavojnice za 800-vatno linearno KV pojačalo

Amaterski kratkovalni opseg (MHz)		3,5	7	14	
L_1	broj zavoja	18	12	8	
	unutrašnji promjer	62	62	31	mm
	dužina	75	75	50	mm
	odvojak kod*	12.	9.	5.	zavoja
	žica (CuAg)	2...2,5	2...2,5	3	mm
L_2	broj zavoja**	5	3	2	
	unutrašnji promjer	75	75	50	mm
	dužina	19	(zavoj do zavoja)		mm
	žica (CuPVC)	1,7...2	1,7...2	2	mm

* Odvojak se broji od uzemljenog kraja zavojnice.

** Iznad uzemljenog kraja zavojnice L_1 .

šasijom. Sklop radi kao GG-pojačalo u klasi AB. Otpornici u katodnim strujnim krugovima služe izjednačivanju jakosti anodnih struja u mirovanju.

U svakom anodnom strujnom krugu je zaštita od pobuđivanja parazitskih oscilacija, Z_1 do Z_4 . Impedancija anodnog strujnog kruga je, zbog paralelnog spajanja cijevi koje troše jaku anodnu struju, vrlo niska — oko 500Ω — pa se titrajni krug na izlazu pojačala mora spajati na odvojak zavojnice L_1 . Ova zavojnica, zajedno sa antenskom, L_2 , mora biti montirana na utikače da se lako može izmjeniti. Za svaki opseg treba načiniti drugu kombinaciju zavojnica, prema tablici 11-5. Tu je naznačeno i kod kojega zavoja treba načiniti odvojak, barem za početak. Dobro je, naime, strpljivo ispitati da li bi možda, u

konkretnom slučaju, bolje odgovarao malo drugačiji položaj odvojka.

Ugradnjom releja REL. 2 postiće se da je kod isključenog linearnog pojačala ulazna priključnica U direktno u vezi sa izlaznom priključnicom IZ. Za vrijeme rada »linearca« ulazna se priključnica spaja (preko C_1) na ulazni, katodni strujni krug. Ovaj je aperiodičan, s prigušnicom VFP. 3. Zenerova dioda ZD mora biti za napon od 6,9 V i za nominalnu opteretivost do 50 W. Niome je osiguran stalan radni prednapon.

Mrežni transformator T_1 ima primarnu zavojnicu za 220 V. Njegova sekundarna zavojnica ima namotaj za napon 2×770 V, uz trajno opterećenje sa 400 mA. Drugi transformator, T_2 , ima također primarnu zavojnicu za 220 V. Na sekundarnoj strani treba dati napon od

25,2 V/1 do 2 A. Žarne niti od sve četiri cijevi spojene su u seriju. Važno je da se u taj strujni krug dodaju i prigušnice *VFP. 1* i *VFP. 2* i da ih se stavi blizu podnožja cijevi. Dioda *D₀* ispravlja taj napon za potrebe rada releja *REL. 2*. Za dobivanje istosmjernog anodnog napona služe ispravljački lanci od po četiri silicijeve diode. Svaka dioda je premoštena sa po jednim kondenzatorom od 10 nF/2000 V i sa po jednim otpornikom od 330 kΩ. Filtracija ispravljenog napona postiže se sa ukupno devet elektrolitskih kondenzatora od po 100 μF/450 V. Tri i tri od njih su spojeni međusobno paralelno. Tako dobivene grupe, od 300 μF svaka, treba spojiti u seriju pazeći da gornje dvije grupe koje su na višem potencijalu budu izolirane od šasije. Tri otpornika od po 47 kΩ/2 W osiguravaju podjednaku raspodjelu napona na kondenzatorskoj seriji i — kad je uređaj isključen — isprazne kondenzatore. Dok je uređaj uključen i dok nema opterećenja, na kondenzatorskoj bateriji postoji napon od blizu 1100 V koji je *smrtno opasan* pa je potreban najveći obzir i pažnja pri gradnji i pri ispitivanju, kao i pri radu s tim uređajem.

Prekidač *Pr. 2* mora biti građen za visoki napon. On služi za prekidanje anodnog napona. Kondenzator od 10 nF i otpornik od 10 kΩ gase iskrenje na tom prekidaču.

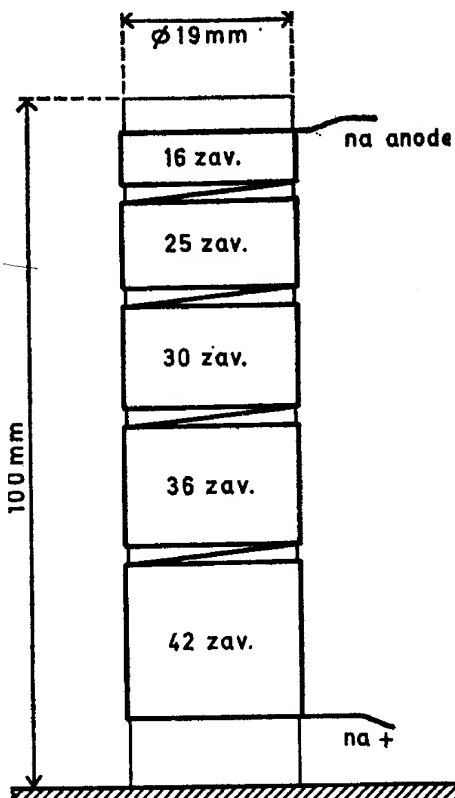
Citav uređaj se uključuje prekidačem *Pr. 1* u primarnom strujnom krugu obih transformatora. U prvi momenat tu je još uključen i zaštitni otpornik od 50 Ω/20 W. On sprečava da od početnog udarca struje oregore osigurači. Isti prekidač aktivira i relej *REL. 1* koji onda, *sa malim ali važnim zakašnjenjem*, svojim kontaktima *REL. 1-A* i *REL. 1-B* kratko spaja zaštitni otpornik da transformatori budu priključeni na puni napon električne mreže.

Da se postigne izlazna snaga od 800 W (P_{EP}) potrebno je ovo linearno pojačalo priključiti iza pre-

dajnika koji sam može dati oko 50 W. Primjena jače pobudne snage preteretila bi elektronske cijevi i ispravljač. Osim toga bi pojačalo »otišlo« izvan područja linearnog rada, proizvodeći snažne smetnje drugim radio-uređajima i televizorima. Ako ovo linearno pojačalo uključujemo iza predajnika koji kod telegrafije može dati veću snagu, moramo mu *smanjiti pobudu* i tako snagu smanjiti na dopušteni iznos. Kod SSB-predajnika treba samo smanjiti niskofrekventnu pobudu SSB generatora (*»MIC. GAIN«*).

Prvo uključivanje i ispitivanje linearnog pojačala *nikako ne smije biti* sa priključenom antenom. Umjesto antene bezuvjetno treba priključiti neku »lažnu antenu« impendancije 50 do 60 Ω koja može izdržati očekivano opterećenje. *Najprije ćemo dati samo malu pobudu*, tek toliku da se jakost anodne struje poveća na približno 100 mA. Pri tome je *C₁* sasvim otvoren, dok sa *C₂* nastojimo postići resonanciju anodnog titrajnog kruga. To smo postigli kada se anodna struja smanji, tj. kad mjerni instrument pokaže tipični »dip«. Razumije se da pri tome moraju biti uključene zavojnice za isti opseg frekvencije na kojemu radi i pobudni predajnik.

Kad smo postigli »dip«, ostavimo *C₂* u položaju resonancije i — ne mijenjajući frekvenciju — povećavamo pobudu dok anodni miliampermetar (ili točnije *ampermetar*, HI) pokaže da je anodna struja narasla na 300 mA. Čim je to postignuto, popravimo *C₂* na »dip« i *brzo prekinemo pobudu*. Anodna struja jača od 100 mA *ne smije trajno teći*, jer bi se cijevi pregrijale. Svako mjerenje smije trajati *najviše 10 sekundi*. Iza toga je potrebno čekati najmanje pola minute prije sljedećeg uključivanja, dakako uz ovaj da cijelo vrijeme radi već spomenuti ventilator (blizu cijevi!). Kod ponovnog uključivanja pobude moramo (*opet brzo i kratko!*) kondenzatorom *C₁* postići da



Sl. 11-94. Dimenzije i raspored zavoja na prigušnici VFP. 4

potrošač »povuče«, tj. da se postigne resonancija u izlaznom, antenskom strujnom krugu (još uvijek bez antene!). To se prepozna po tome što »dip« postane širok i plići.

Iza potrebnog hlađenja uključimo i pojačajmo pobudu toliko da anodna struja bude 800 mA, na brzini — ali ipak što tačnije — pravimo resonanciju sa C_2 i sa C_4 i — isključimo. INPUT je bio 800 W.

Prototip je bio ispitivan analizatorom VF spektra pa se pokazalo da su *pri toj snazi* izobličenja svih vrsta mala. Produkti trećeg reda bili su za 27, a produkti petog reda za više od 50 dB ispod nivoa signala.

Općenito se može očekivati da će, sa drugim sličnim »televizij-

skim« cijevima, iskorištenje biti oko 65% uz, najvjerojatnije, manju izlaznu snagu.

Posebnu pažnju treba posvetiti izgradnji prigušnice VFP. 4, prema sl. 11-94. Zbog jake anodne struje žica ne smije biti tanja od 0,5 mm. Valjak na koji se namata žica neka bude iz teflona ili keramički. U pomanjkanju toga može se pokušati sa valjkom od dobro osušenog mekog (!) drveta.

Koliku snagu treba radio-amater? QRO ili QRP?

Znamo, da — ovisno o operatorskoj klasi — pravilnici u Jugoslaviji amaterima dozvoljavaju upotrebu radiostanica sa snagom od 2000 W. Takvi su uređaji skupi. Zato je opravdano pitanje: »Koliku snagu treba radio-amater?« Koliko veliku (QRO), odnosno kako malu (QRP)?

Najpre činjenice! Za promjenu glasnoće signala za jednu S-jedinicu potrebna je promjena snage za četiri puta ili za 6 dB. To znači da ćemo, uz pretpostavku da sa 100 W snage postignemo raport 59 na nekom opsegu, određenog dana, sa konkretnom antenom, smanjujući snagu (na istom opsegu, istog dana i sa istom antenom!) kod istog amatera koji nas prima, postići:

- S8 sa snagom od 25 W,
- S7 sa snagom od 6 W,
- S6 sa snagom od 1,5 W i
- S5 sa snagom od 0,4 W.

Signal S9 + 10 dB u istim prilikama postići ćemo tek sa 1000 W.

Kod tvornički izrađenih radio-uređaja koji su namijenjeni amaterima, ugrađeni S-metar često pokazuje »previše«. Razlike između S-jedinica koje su napisane na skali S-metra često se postižu i manjim razlikama u snazi signala. Zato, nekad, S-metar ne pokazuje ništa, a na sluh (»uhometrom«, HI) je signal još sasvim glasan i jasan. Također se S9 prebrzo postiže, da ne govorimo o onim »decibelima« iznad S9.

Čemu je onda potrebna velika snaga, preko 100 W, ako već i s manjim snagama može tako dobro »ići«? U većini slučajeva zato da se nadjačaju svi slabiji signali, osobito u različitim kontestima (što sa onim lijepim amaterskim HAM SPIRIT-om baš i nema prave veze!) Najčešće amateri kupuju uređaje kojima je snaga oko 100 W; malo više ili malo manje ne mijenja mnogo izgleda za uspješan rad.

U novije vrijeme postoji među radio-amaterima širom svijeta pokret za *redukciju snage predajnika*. Mnogi amateri rade sa snagama oko 10 W ili sa QRP-stanicama (do 5 W) ili čak sa QRPP-stanicama (do 1 W) i postižu izvanredne rezultate. Oni smatraju da je bolje upotrebiti *predajnik manje snage i bolje antenske sisteme*, razvijajući do savršenstva *operatorske sposobnosti* radio-amatera. Odlučite sami.

UKV PREDAJNICI

NEKOLIKO UVODNIH NAPOMENA

Ako vodimo računa o svim onim specifičnostima UKV tehnike, o kojima je bilo govora u poglavlju o UKV prijemnicima, neće nam biti teško da gradimo predajnike za ultrakratke valove. Ovo vrijedi osobito za popularno dvometarsko (144 do 146 MHz) i 70-centimetarsko (430 do 440 MHz) amatersko UKV područje, na kojima još uglavnom vrijede opći principi gradnje. U takvim predajnicima je još moguće koristiti »obične« elektronske cijevi i tranzistore do kojih amater još nekako može doći. Ove činjenice ujedno objašnjavaju veliku raširenost i aktivnost dvometarskih amaterskih stanica kao i, osobito u novije vrijeme, sve većeg broja amaterskih radio-stanica koje rade na 70 centimetara. Za oba opsega je oprema amaterskih stanica jednim dijelom nabavljena u inozemstvu. To su oni mnogobrojni primopredajnici koje se svakodnevno čuje u radu preko FM-repetitora u »drugoj polovici« dvometarskog opsega (145 do 146 MHz). Kad pro-radi koji repetitor na 70-centimetarskim frekvencijama, bit će ih i tamo.

Iako ima i na još višim frekvencijama amaterske aktivnosti, osobito na frekvencijama oko 10 GHz, ona je još uvijek povremena, uglavnom u vrijeme različitih »konstata«.

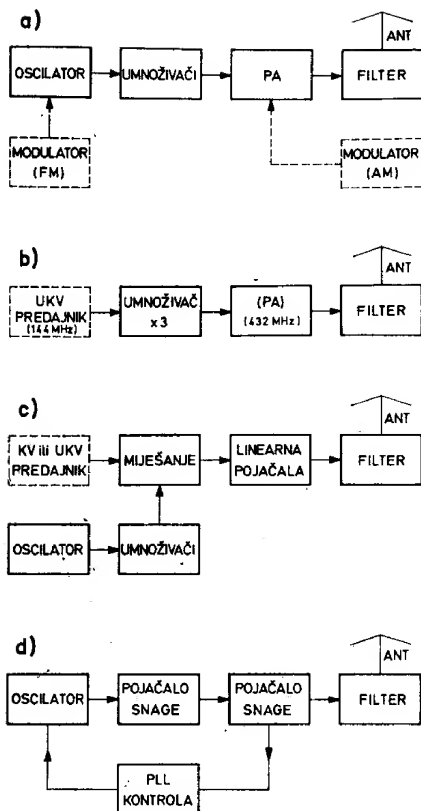
Za rad na 23-centimetarskom opsegu (1215 do 1300 MHz), i još višima, treba definitivno napustiti i »klasične« titrajne krugove i le-

herske paralelne vodove i preći na koaksijalne resonatore i na »štampane« resonantne trake. Osim toga u tim se opsezima više ne mogu upotrebiti ni obični sastavni dijelovi. I cijevi i tranzistori ovdje gube svoja dobra svojstva, čak i kristalne diode »normalne« konstrukcije, sa svojim kapacitetima od 1 do 2 pF, postaju neupotrebljive. Ima, doduše, i za te osobito visoke frekvencije i specijalnih tranzistora (GaAs), kao i specijalnih dioda za različite svrhe, ali sve je to za prosječnog radio-amatera preskupa i jedva pristupačna specijalna oprema.

Ovdje ćemo, u ovoj knjizi, koja ima ipak (HI) ograničen prostor, govoriti najviše o predajnicima za najraširenija UKV područja, dvometarsko i 70-centimetarsko. Za »tehnički znatizeljne« navest ćemo i primjer predajnika za 1296 MHz. Neki primjeri UKV uređaja mogu se naći i u poglavljima o različitim vrstama modulacije (poglavlja 13 do 15), u poglavlju o primopredajnicima (16), te u poglavlju o prevoznim i prenosnim radio-uređajima (20).

Glavne vrste UKV predajnika

Jedna od glavnih razlika između KV i UKV predajnika je u tome što je UKV predajnik redovito građen za rad u *samo jednom opsegu*. To je zato, jer bi dodavanje valnih preklopnika dovelo do nedopustivo dugih vodova i do velikih visokofrekventnih gubitaka na njihovim kontaktima.



Sl. 12-1. Pregled najvažnijih tipova predajnika za ultrakratke valove.
Vidi tekst

Tehničkih rješenja, na temelju kojih se mogu postići vrlo visoke frekvencije za rad predajnika na pojedinim UKV opsezima, ima mnogo. Najčešće se susrećemo sa slijedećim četiri načina, prema sl. 12-1.

Na blok-shemi, sl. 12-1a, prikazan je princip predajnika koji ima *stabilan oscilator*. Iza njega slijedi potreban broj *umnoživača* frekvencije, zatim *izlazno pojačalo snage* (PA) i, bezuvjetno, *filter*. Filteru je zadaća da zadrži sve one frekvencije koje su bile potrebne u predajniku, od oscilatora i svih umnoživača, ali ih ne želimo i ne smijemo

emitirati. Filter treba propustiti samo konačnu, radnu frekvenciju u izabranom UKV opsegu. Sam oscilator radi na razmjerno niskoj frekvenciji iz dva razloga. Prvi je taj, što je lakše načiniti stabilan oscilator na nižim frekvencijama. Zato je takav oscilator često s kvarcovim kristalom. Drugi razlog je upravo u tome kristalu. Kvarcov kristal je lakše i jeftinije izbrusiti za nižu frekvenciju nego za takvu koja bi odmah imala potrebnu visinu za rad na ultrakratkim valovima. Osim toga i neke vrste modulacije (vidi u poglavlju 15), kao npr. *frekventna modulacija* (FM) »traže« da se modulator spaja na oscilator koji ima *nižu* frekvenciju, kako bi se iz umnožavanja dobio dovoljno moduliran signal. Za razliku od toga, modulator za postizanje amplitudne modulacije (AM, vidi u poglavlju 13) redovito djeluje na izlazni stupanj predajnika (PA).

Predajnik, kojemu je blok-shema na sl. 12-1b, postiže visoku radnu frekvenciju (npr. 432 MHz) direktnim *utrostručivanjem* gotovog, već moduliranog UKV signala niže frekvencije (npr. 144 MHz) iz nekog predajnika. Tako se može i frekvencija u opsegu od 1296 MHz postići utrostručivanjem 70-centimetarskog signala ($3 \times 432 = 1296$). Utrostručivanje signala, koji je već moduliran, može u nekim slučajevima biti »zabranjeno« jer modulacija postaje nerazumljiva (npr. SSB-signal, vidi poglavlje 14). Takvih problema nema, ako se utrostručuje telegrafski ili frekventno moduliran signal, pa se to u praksi neki put može načiniti. Neugodna strana ove metode je da filter često ne zadrži u dovoljnoj mjeri početnu frekvenciju. Filter mora biti *osobito dobro konstruiran*. Ukoliko se utrostručena frekvencija pojačava u posebnoj izlaznoj stupnju (PA) i to pojačalo mora biti vrlo *selektivno*, da se i u njemu potisne nepoželjan signal.

Ideja, da se kao *izvor ishodišnog signala*, koji je već moduliran i

sasvim »gotov« za emisiju na nekoj nižoj frekvenciji, upotrebi *postojeći predajnik za KV ili UKV*, često se koristi, osobito kod amatera. Na blok-shemi, sl. 12-1c, takav predajnik radi na kratkom valu (obično u opsegu između 28 i 30 MHz) ili na *dvometarskom UKV opsegu*. Pomoćni oscilator (kojemu je frekvencija nizom umnoživača dovedena na potreban iznos) omogućuje da se miješanjem postigne bilo koja frekvencija unutar bilo kojeg UKV opsega. Ovako se u neki odabrani UKV opseg može *transponirati* (premjestiti!) signal koji je već moduliran, *bez obzira na vrstu modulacije*. Iza miješanja treba tako dobiveni signal pojačati. Ako je to telegrafski ili FM-signal, pojačala mogu raditi i u klasi C. Kvaliteta signala se neće iskvariti. Ako je signal moduliran amplitudno ili ako se radi o pojačanju SSB-signala (SSB-signal je dio AM-signala! Vidi poglavlje 14) *bezuvjetno* je potrebno da pojačala snage rade u *linear-nom režimu* (klasa A ili, najčešće, klasa AB). Linearna pojačala snage mogu pravilno i bez iskrivljenja pojačati snagu bilo kakve vrste signala, *uz uvjet da pobuda ne bude prejaka*. Unatoč tome, potrebno je primijeniti i *filter na izlazu*, prije nego signal stigne do antenskog sistema.

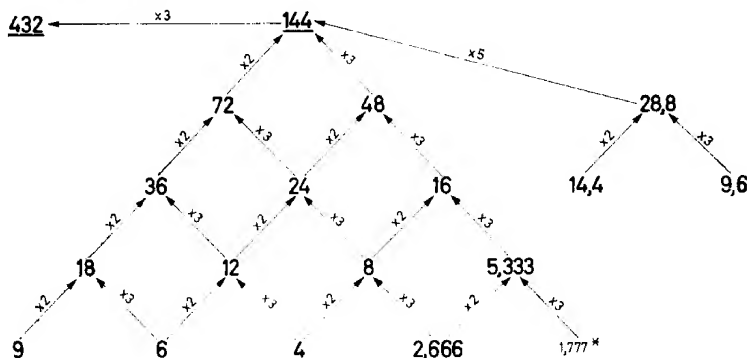
Predajnici za UKV, kojima se frekvencija kontrolira *metodom PLL* (vidi poglavlje 8), prema prin-

cipu na sl. 12-1d, mogu se susresti kod mnogih tvorničkih uređaja, namijenjenih amaterima. Oscilator može raditi na vrlo visokoj frekvenciji, često već u odabranom UKV opsegu. Takav oscilator ne bi mogao biti, sam po sebi, dovoljno stabilan. *PLL-kontrola* uzima uzorak te frekvencije i upoređuje ga s frekvencijom vrlo stabilnog »referentnog« oscilatora. Ovaj je obično s kvarcovim kristalom, unutar sistema PLL-kontrole. Izlazna je frekvencija stabilizirana kao da i nju proizvodi kvarc. Takav sistem predajnika će biti i ovdje opisan (vidi poglavlje 8 i 16).

O izboru frekvencije za pomoćne kvarcove oscilatore u UKV predajnicima

Za predajnik, prema blok-shemi na sl. 12-1a, potreban je kvarcov kristal kojemu frekvencija mora biti odabrana tako da se *iza umnožavanja postigne radna frekvencija*.

Na sl. 12-2 je tzv. »piramida« frekvencija koje nas sve mogu na neki način »dovesti« u *dvometarski opseg*. Matematički, ali i tehnički, zamislivo je da se neka frekvencija pomnoži sa pet. Tako bi se iz 10-metarskog opsega moglo »preći« najkraćim putem u dvometarski: $28,8 \text{ MHz} \times 5 = 144 \text{ MHz}$. Moguće jeste, ali se rijetko prakticira. Bilo bi takvo upeterostručivanje frekvencije neekonomično.



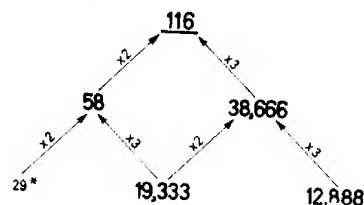
Češće se primjenjuje *udvostručivanje* i *utrostručivanje* frekvencije. Za *amaterske* gradnje je tipično polaženje od frekvencije kristala koja iznosi 48 MHz, 9 MHz i 8 MHz, rjeđe 72 MHz ili 24 MHz. U *tvorničkim uređajima*, koji su predviđeni za rad u dvometarskom opsegu, ima kristala na frekvencijama oko 4 MHz, ali najčešće na frekvencijama oko 12 MHz. Množeći frekvenciju takvog kristala sa 12 [$12 \times (3 \times 2 \times 2)$ ili $12 \times (2 \times 3 \times 2)$ ili $12 \times (2 \times 2 \times 3)$] dolazi se u opseg od 144 MHz. Tačna frekvencija kvarca se mora *izračunati* tako da se potrebna radna frekvencija predajnika podijeli sa 12; npr. za pozivnu frekvenciju nekog repetitora na kanalu R6, a koja iznosi 145,150 MHz, kvarc ima 12 puta nižu frekvenciju: 12,0958 MHz. Ukoliko taj broj piše na kristalu, množenjem frekvencije 12 puta slijedi rezultat: 145,1496 MHz. Malu razliku je moguće popraviti korekcijskim trimenom u samom oscilatoru.

Da bismo miješanjem, prema sl. 12-1c, signal od 28 MHz prebacili na 144 MHz potrebna je frekvencija 116 MHz. Ova se može izravno postići i specijalnim overtonskim oscilatorima s posebno brušenim kristalom. Ipak, češće se ta frekvencija postiže umnožavanjem od niže frekvencije nekog jeftinijeg kvarcovog kristala. Nekoliko najvažnijih mogućnosti pokazuje »piramida« brojalca na sl. 12-3. Svim amaterima, koji su bar pokušali nešto graditi za dvometarski opseg, poznata je frekvencija kvarca 38,666 MHz. Na nekim od tih kristala piše 38,667 MHz, ali to je u praksi isto, jer se precizna vrijednost ionako postiže korekcijskim trimenom u oscilatoru.

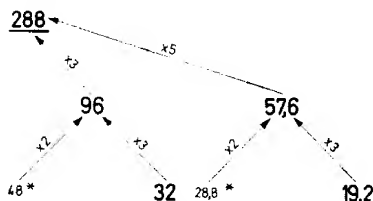
Rad u opsegu od 70 centimetara valne dužine omogućen je vrlo često transpozicijom signala ili iz dvometarskog ili iz desetmetarskog opsega, takođe prema sl. 12-1c.

Za transpoziciju signala iz dvometarskog opsega se amater odlučuje onda, ako već ima dobar dvo-

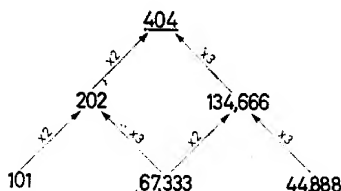
metarski uređaj. Potrebna frekvencija iznosi 288 MHz ($144 + 288 = 432$). Frekvencije kvarcovog kristala koji služi za tu svrhu, iza potrebnog umnažanja, ispisane su na sl. 12-4. Od ovih se najviše upotrebljavaju dvije: 96 MHz i 57,6 MHz. Pri takvoj transpoziciji može se na izlazu pojaviti i »početni« signal dvometarske radio-stanice. To će se dogoditi ako uređaj za transpoziciju nije dobro načinjen, ako nije pravilno ugođen, i ako mu, u miješanje, dovodimo prejak dvometarski signal. Loš filter za frekvenciju unutar 70-centimetarskog opsega može također biti uzrok takvoj nepoželjnoj pojavi. Uz ispravan postupak i pravilnu gradnju takvih problema neće biti.



Sl. 12-3. »Piramida« frekvencija koje umnožavanjem daju 116 MHz



Sl. 12-4. Najvažnije frekvencije od kojih se umnožavanjem dolazi na 288 MHz



Sl. 12-4. Najvažnije frekvencije od kojih se umnožavanjem omogućuje postizanje frekvencije 404 MHz

Oni koji imaju dobar desetmetarski predajnik mogu njegov signal transponirati u 70-centimetarski opseg, također miješanjem, prema sl. 12-1c. Za ovu svrhu je potrebna frekvencija 404 MHz. Nema kristala koji bi mogao biti brušen da stabilno radi na tako visokoj frekvenciji. Ona se postiže umnažanjem nižih frekvencija. Najvažnije od njih su na sl. 12-5. Razumije se da i niže od ovih, npr. frekvencija 50,5 MHz, predstavlja vrlo dobru početnu vrijednost, ali takve možemo lako izračunati. Najčešće se primijenjuju kristali s frekvencijom 101 MHz i 134,666 MHz. To dakako nisu osnovne, već overtone frekvencije koje su napisane na kristalima.

PREDAJNICI ZA 144 MHz

Veći broj predajnika za 144 MHz opisan je u prva dva izdanja ovog priručnika. Osim toga nekih će primjera biti u III i IV izdanju i u nekim drugim poglavljima (vidi poglavlja: 8, 15 i 16).

Prije svega treba naglasiti da se danas nastoji pripremiti predajni signal na jednako tako *malom nivou snage*, kako se to radi i kod prijemnika. Sve što je o tome rečeno u poglavlju o oscilatorima i u poglavlju o prijemnicima, osobito u poglavlju o UKV prijemnicima, jednako vrijedi i za pripremanje signala u predajniku. Kad je signal pripremljen, potrebno je njegovu snagu pojačati, pazeći pritom *da ne dođe do izobličenja* i do stvaranja »nusprodukata« koji bi mogli izazvati smetnje ostalim amaterima koji rade na istom ili na drugim valnim opsezima. Također predajnik ne smije smetati *ni običnom radio-prijemu, ni televiziji*.

Tranzistorski predajnik za 144 MHz

Tranzistorski predajnik prema principu, prikazanom na sl. 12-1a, ima kvarcov overtone oscilator, sl. 12-6. Potrebnu povratnu vezu osigurava kapacitivni razdjelnik C_1/C_2 u titrajnom krugu sa zavojnicom

L_1 . Kristal može biti brušen za osnovnu frekvenciju od 8 MHz ili za 24 MHz. U svakom slučaju će oscilator raditi na frekvenciji od 24 MHz. Veza sa slijedećim stupnjem je induktivna.

Tranzistor TR_2 radi u drugom stupnju koji treba frekvenciju udvostručiti na 48 MHz. Otpornik R_1 u njegovom emitterskom strujnom krugu inora se odabrati tako da se postignu što intenzivnije oscilacije dvostruke frekvencije. To će biti kada R_1 bude imao neku vrijednost između 56 i 100 Ω . Neobičnost ovoga, kao i svih ostalih stupnjeva u ovom predajniku je u tome da su baze tih triju tranzistora direktno »uzemljene« (na potencijalu »nula«). Ako bolje pogledamo, vidjet ćemo da je i baza prvog tranzistora, TR_1 , također uzemljena, ali ne direktno već preko kondenzatora od 4,7 nF! Ako je tranzistoru *uzemljena baza*, njegov *unutrašnji povratni kapacitet* je *znatno smanjen*. Ulazna impedancija (na emiter!) razmjerno je vrlo niska, ali uz potrebno prilagođenje ne predstavlja poteškoću. Izlazna impedancija, u kolektorskom strujnom krugu, je visoka i tranzistor neće znatno priгуšiti titrajni krug koji je uključen. Selektivnost pojedinih stupnjeva je tako veća, što doprinosi redukciji neželjenih i nepotrebnih frekvencija.

Treći stupanj, sa TR_3 , utrostručuje frekvenciju. Da se postigne što bolje utrostručavanje potrebno je optimalno izabrati otpornik R_2 (između 82 i 220 Ω). Njegova vrijednost ovisi o upotrebljenom tranzistoru i o pobudi koja dolazi od prethodnog stupnja. Predviđeno je da se dovod kolektorske struje za TR_3 prekida tipkalom T_1 za emisiju telegrafije.

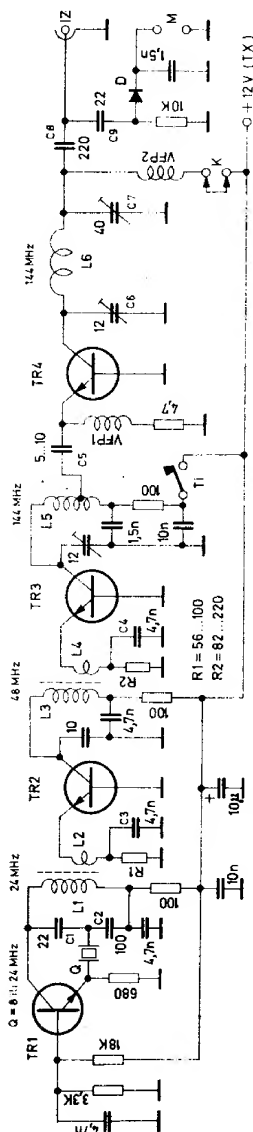
U posljednjem stupnju predajnika je tranzistor TR_4 sa PI-filtrom na svome izlazu. Tu je i sklop sa diodom D koji omogućuje kontrolu rada predajnika mjernim instrumentom M . Ovaj pokazuje relativnu izlaznu snagu predajnika.

Izbor tranzistora ovisi o snazi koju želimo postići, ali i o električnoj energiji koju možemo primijeniti za pogon. Ukoliko se predviđa pogon iz tri plosnate suhe baterije ($3 \times 4,5 \text{ V} = 13,5 \text{ V}$), moramo izabrati slabije tranzistore. Prva dva mogu

biti *BSJ63* ili *BC 107*. Treći i četvrti tranzistor mogu biti *BFJ 17* ili *2N2219*. INPUT se postiže najviše do 400 mW. Izlazna snaga je između 150 i 200 mW. Na frekvencijama dvometarskog opsega može se s takvom snagom, ovisno o upotrebnoj anteni i odabranom QTH, računati — u povoljnim prilikama — sa QRB od 80 do preko 250 km!

Imamo li na raspolaganju više električne energije, npr. iz akumulatora većeg kapaciteta ili iz nekog odgovarajućeg stabiliziranog ispravljača, možemo istim predajnikom postići i veće snage. Ako za TR_1 i TR_2 upotrebimo tranzistore 2N2219 (ili 2N2222), za TR_3 BFJ 17 (ili 2N2219) a u izlazni stupanj (TR_4) stavimo 2N3866 (ili 2N4427), možemo očekivati izlaznu snagu oko 1 W. Takva izlazna snaga omogućila bi postizanje »raporta« koji bi bili prosječno za jednu S-jedinicu bolji nego sa tranzistorima u slabijoj varijanti.

Podaci o zavojnicama mogu se naći na tablici 12-1. Pojedine titrajne krugove treba kontrolirati apsorpcijskim valomjerom ili dipmetrom, da budemo sasvim sigurni da smo ih ugodili na »pravu« frekvenciju. Bez toga postoji opasnost da neki titrajni krugovi budu ugodeni na pogrešnu frekvenciju! Predajnik se vidi na sl. 12-7.



Sl. 12-6. Shema predajnika za telegrafiju u opsegu od 144 MHz. Opis u tekstu



Sl. 12-7. Predajnik za 144 MHz na pločici od vitroplasta. Sasvim desno, gore, vidi se kvarcov kristal (8 MHz) u overtonskom oscilatoru za 24 MHz. Lijevo od njega je udvostručivač frekvencije na 48 MHz. Do njega slijedi utrostručivač na 144 MHz koji pobuđuje izlazni stupanj, smješten lijevo od limene pregrade

Tablica 12-1. Zavojnice za tranzistorski UKV predajnik (sl. 12-6)

Oznaka	Broj zavoja	Debljina i vrsta žice	Napomena
L_1	25	0,4 mm; CuL	na tijelu promjera 5mm,*)
L_2	4,5	0,5 mm; CuPVC	preko hladnog kraja, na L_1
L_3	7	0,4 mm; CuL	na tijelu promjera 5 mm,*)
L_4	2 do 3	0,5 mm; CuPVC	preko hladnog kraja, na L_3
L_5	3,5	1 mm; CuAg ili CuL	bez tijela, unutrašnji promjer 8 mm, dužina 22 mm, odvojak kod 2,5 zavoja
L_6	3	1 mm; CuAg ili CuL	bez tijela, unutrašnji promjer 10 mm, dužina 13 mm

*) Sa UKV jezgričom za ugađanje, promjera 3,5 mm.

Savremeni dvometarski predajnik sa PLL-kontrolom frekvencije

Na sl. 12-1d vidjeli smo blok-shemu savremenog dvometarskog predajnika sa PLL-kontrolom frekvencije. Taj je princip detaljnije objašnjen u poglavlju o oscilatorima (8). Ovdje ćemo pokazati jedan primjer takvog predajnika na sl. 12-8. To je varijanta sheme koju je opisao DJ9HH (CQ-DL, 10/1978) uz dodatke prema DB3TB (UKW-Berichte, 3/1981).

Predajni dio ima samo dva tranzistora, TR_1 i TR_2 . Prvi je u pobudnom oscilatoru; drugi je u izlaznom stupnju. Oba rade na istoj frekvenciji, u dvometarskom području (144 do 146 MHz). Glavna prednost rada na istoj frekvenciji je vrlo čist izlazni signal, budući da između oscilatora i izlaznog stupnja nema ni umnažanja ni miješanja različitih frekvencija.

Oscilatorski stupanj, s tranzistorom TR_1 , pobuđuje se pomoću kapacitivnog razdjelnika C_2/C_3 , spojene između kolektora i emitera, tako da su ove obje elektrode na VF potencijalu. Baza oscilatorskog tranzistora je kapacitivnim putem (preko 1,5 nF, C_1) »uzemljena« i ta-

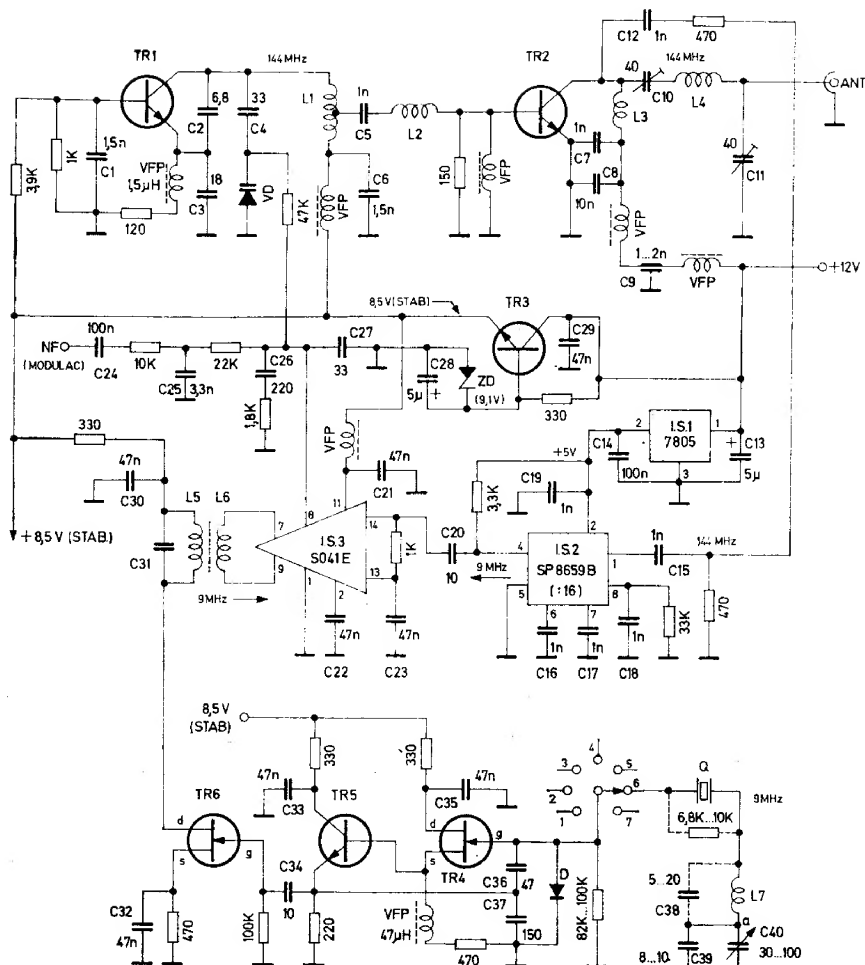
ko na njoj nema visokofrekventnog napona.

Frekvencija se oscilatoru miješnja varikap diodom, VD , s kojom je u seriju spojen kondenzator C_4 . On ograničuje promjenu frekvencije. Ako bi njegov kapacitet bio manji, varikap-dioda bi mogla frekvenciju mijenjati u manjem opsegu.

Stabilnost tako, jednostavno, dobivene frekvencije ne bi bila zadovoljavajuća, kad ne bi bilo PLL-sistema za njenu kontrolu. Svi ostali dijelovi, prikazani na shemi, sl. 12-8, pripadaju toj kontroli frekvencije.

»Uzorak« izlazne frekvencije uzima se s kolektora TR_2 , preko C_{12} , i vodi u integrirani sklop SP8659B. On dijeli frekvenciju sa 16. Na njegovom izlazu dobije se frekvencija 9 MHz. Integrirani sklop IS.1 (7805) stabilizira napon za pogon djelitelja frekvencije, održavajući ga na 5 V.

U predajniku postoji još jedan izvor frekvencije 9 MHz. To je kristalni oscilator s tranzistorom TR_4 . To je FET koji se pobuđuje pomoću kristala Q . Uz dodatak zavojnice L_7 i kondenzatora C_{38} i C_{39} omogućena je promjena frekvenci-



Sl. 12-8. Shema savremenog dvometarskog predajnika sa PLL-kontrolom frekvencije koja je upravljana »vučenim« kristalnim oscilatorom i s mogućnošću frekventne modulacije. $TR_1=TR_5=2N5179$; $TR_2=2N4427$; $TR_3=2N2219$; $TR_4=TR_6=E300$. Opis u tekstu

je. Za tu je svrhu uključen i promjenljivi kondenzator C_{40} s maksimalnim kapacitetom od 100 pF. Kao Q moguće je upotrebiti tzv. »CB« kristale koji su označeni frekvencijama »građanskog valnog opsega« oko 27 MHz. Redovito je to overtonska frekvencija pa je osnovna frekvencija kvarca otprilike trećina one koja je označena, oko 9 MHz.

Prije gradnje uređaja je dobro ispitati nekoliko kristala u takvom oscilatorskom spoju da se provjeri kakve su mogućnosti »povlačenja« frekvencije. Mi smo izvršili takva ispitivanja i rezultati su bili vrlo dobri. Kao primjer ćemo navesti da je kristal na kojemu piše: 27,295 MHz, imao osnovnu frekvenciju oko 9,1 MHz (dijeljenje sa 3 daje broj 9,098 MHz, što ne može

Tablica 12-2. Zavojnice za dvometarski predajnik sa PLL-kontrolom frekvencije

Oznaka	Broj zavoja	Debljina i vrsta žice	Napomena
L_1	4,5 (sa odvojkom iza 2. zav.)	0,5 mm; CuAg (CuL)	Na tijelu promjera 4,5 mm, sa jezgriцом za UKV (M 3,5)
L_2	5	0,8 mm; CuL	Bez tijela. Unutrašnji promjer 4 mm. Dužina 6 mm
L_3	5	0,8 mm; CuAg (CuL)	Bez tijela. Unutrašnji promjer 5 mm. Dužina 9 mm
L_4	3	0,8 mm; CuAg (CuL)	Bez tijela. Unutrašnji promjer 4 mm. Dužina 5 mm
$L_5 + L_6$	2×20	0,2 mm; CuL	Bifilarno namotano na prstenastoj jezgri za KV
L_7	25	pletenica $8 \times 0,03$ mm	Na tijelu promjera 4,5 mm, sa jezgriцом za KV (M 3,5)

biti sasvim tačno, jer se radi o overtonskim oscilacijama samog kristala, a ne o utrostručenju frekvencije! Bolje je taj izračunati broj malo zaokružiti). No, to i nije osobito važno, budući da frekvenciju, u ovom slučaju, određuje specijalan sklop oscilatora s tranzistorom TR_4 . Frekvencija se mijenja promjenljivim kondenzatorom C_{40} od vrijednosti koja je malo viša od izračunate pa sve do vrijednosti koja je najmanje za 10 kHz iznad nje. Da saznamo koliko promjeni frekvencije to odgovara u dvometarskom opsegu potrebno je množiti sa 16. Prema tome se frekvencija unutar našeg UKV opsega mijenja za više nego 160 kHz. Strpljivim eksperimentiranjem s vrijednostima kondenzatora C_{38} i C_{39} , kao i induktivitetom zavojnice L_7 (jezgrica za ugađanje!), može se postići i veća promjena frekvencije u dvometarskom opsegu, sve do preko 200 kHz! To, dakako, ovisi i o upotrebljenom kristalu, pa baš svaki od njih neće to omogućiti u tolikom iznosu. Navedenim kristalom (nominalno 27,295 MHz) mi smo u dvometarskom opsegu lako mogli mijenjati frekvenciju da obuhvatimo *sva četiri simpleks-kanala*, od

S 20 do S 23. Ukoliko bi se umjesto promjenljivog kondenzatora C_{40} nekim preklopnikom mogla zamjenjivati četiri trimerska kondenzatora, mogli bismo i direktno birati te kanale.

Čitav opseg od 145 do 146 MHz može se na taj način obuhvatiti sa 6 do najviše 7 kvarcovih kristala, ako su pravilno odabrani. Zato je na sl. 12-8 nacrtan *preklopnik sa 7 položaja*. Njime treba odabirati pojedine frekvencijske sektore sa 7 kristala. Svaki od njih mora imati svoj kristal, svoju zavojnicu L_7 i svoje kondenzatore (osim promjenljivog kondenzatora C_{40}). Njega bi trebalo *drugim kontaktnim kraćom istog preklopnika* — kod a — spojiti u onaj sklop s kristalom, koji je upravo uključen. (*Ovo nije nacrtano*, ali iskusnijem konstruktoru neće biti teško da to sam načini).

Zanimljiv je i način na koji je iskorišten tranzistor TR_5 . On je u spoju emitereskog slijedila i s njegovog emitera ide vod za održavanje povratne veze oscilatora. Na taj je način rasterećen TR_4 . Rasterećenju oscilatora služi i TR_6 . U njegovom izlaznom strujnom krugu je titrajni krug L_5C_{31} koji resonira

na 9 MHz. Otuda, preko L_6 odlazi stabilan signal te frekvencije u komparator IS.3. Upotrebljen je integrirani sklop SO41E. Uporedivanjem frekvencije od 9 MHz koja dolazi do kvarcovog oscilatora i frekvencije od 9 MHz koja dolazi od djelitelja frekvencije (IS.2) nastaje, u slučaju raskoraka među njima, napon kojim se korigira kapacitet varikap-diode VD i, ujedno, frekvencija oscilatora sa TR₁. Tako taj oscilator stalno ostaje na frekvenciji koja je određena kristalnim, referentnim oscilatorom. Ako referentnom oscilatoru (sa TR₄ i Q) mijenjamo frekvenciju, kontinuirano ili u skokovima, sve promjene će slijediti i oscilator koji služi za pobudu predamnika.

Izlazna snaga doseže oko 1 W. Kod NF je moguće dovesti nisko-frekventni signal (iz mikrofonskog pojačala koje ograničuje frekvenciju na opseg od 300 do 3000 Hz i amplitudu da se ne pređe dopuštena devijacija; vidi poglavlje 15). Pomoću njega se može emitirati signal frekventno *modulirati djelovanjem na istu varikap-diodu* s kojom se održava konstantna frekvencija oscilatora.

Na shemi je još tranzistor TR_3 . On služi, zajedno sa Zenerovom diodom ZD za postizavanje konstantnog pogonskog napona od 8,5 V. Većina stupnjeva se napaja tim na-

ponom. Izuzetak je IS₂ koji se napaja sa 5 V i izlazni stupanj koji dobije punih 12 V napona.

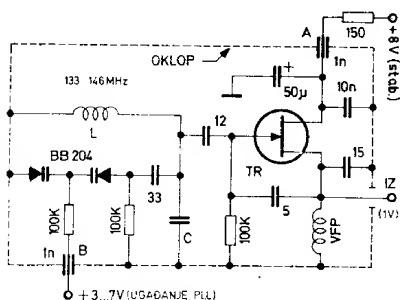
Umjesto oscilatora s bipolarnim tranzistorom TR_1 mogao bi se upotrebiti i oscilator, prema sl. 12-9, sa unipolarnim tranzistorom (FET, TR_1). Varikap-diodom $BB204$ može mu se frekvencija mijenjati između 133 i 146 MHz, uz promjenu napona od 3 do 7 V. Sve je u limenom oklopu. Zavojnica L ima samo 3 zavoja, promjera 4,5 mm, namotana bez tijela, žicom 0,45 mm, CuAg (ili CuL). Visokofrekventna prigušnica je načinjena tako da se 10 cm lakirane, bakrene žice, debele 0,45 mm, namota (zavoj do zavoja) na promjer od 3 mm. Kapacitet kondenzatora, označenog sa C, treba odrediti pokusom da se postigne željeni opseg frekvencija. Svi kondenzatori moraju biti vrlo dobre kvalitete (sa tinčevom »mika«, izolacijom ili polistirolski). A i B su provodni kondenzatori, zalemljeni na rupice u oklopu. Za podatke zahvaljujemo YU2REJ.

POJAČALA SNAGE ZA DVOMETARSKI OPSEG FREKVENCIIJA

Važna svojstva snažnih pojačala za UKV

Najprije moramo razlikovati ona pojačala snage koja rade u klasi C (za telegrafiju i za FM telefoniju) on onih koja rade u klasi AB (za sve vrste signala, osobito za SSB-telefoniju). Često čujemo kako sva pojačala snage nazivaju »linearci- ma«, iako se samo pojačala koja rade u klasi A i klasi AB smiju smatrati linearnim pojačalima. Za pojačala snage na UKV područjima se klasa A uglavnom ne upotrebljava (osim izuzetno, kod vrlo malih snaga!) jer se upotrebljena cijev ili tranzistor pretjerano griju. Redovito se primjenjuje pojačanje u klasi AB.

Pojačala koja rade u klasi AB (vidi poglavlje 3, sl. 3-14) uvijek izo-



Sl. 12-9. Primjer upravljano oscilatora sa FET-om koji se može priključiti na PLL-sistem za kontrolu frekvencije

blićuju signal. Kod znatnijih amplituda jedna je strana sinusoida uvijek jače izražena od druge. Tako izobličen signal, kod visokofrekventnih pojačala snage, najčešće odlazi u neki titrajni krug. On iz pojačala klase AB dobiva izobličene impulse, ali sam titrajni krug svojom resonancijom iz takvih impulsa stvara pravilnije titraje. Tu je njegova uloga slična djelovanju kotča zamašnjaka u eksplozivnim motorima (na benzin, dizel ili plin). Unatoč impulsima koje dobiva slijedom eksplozija, zamašnjak svojom tromošću ipak osigurava jednoličnu vrtnju.

Jedan titrajni krug, na izlazu pojačala klase AB, ipak ne može sasvim izgladiti sve nelinearnosti. U pojačanom signalu zato uvijek preostaje i, više ili manje, neželjenih produkata. Koliko će ih biti? To ovisi o vrsti aktivnog elementa (cijevi ili tranzistoru) koji služi za pojačavanje snage, o pogonskim uvjetima i — osobito — o pobudi.

Tablica 12-3 daje uporedbene podatke za tri poznata aktivna elementa, za cijev QQE06/40, za cijev 4X150A i za tranzistor 2N5591 u izlaznim linearnim pojačalima klase AB, za frekvencije u dvometarskom amaterskom opsegu. Svi podaci koji su u tablici navedeni vrijede za normalan rad uz normalnu pobudu, bez ikakvog pretjerivanja, poštuju-

ći sve odredbe tvornica. Vidimo da će elektronska cijev QQE06/40, dajući izlaznu snagu od 50 W, na izlazu svog titrajnog kruga imati preostalih neželjenih produkata sa snagom od 125 mW, što je 26 dB ili tek malo više od 4 S-jedinice slabije od emitiranog signala. Prisutnost neželjenih frekvencija kod cijevi 4X150A je, kod izlazne snage od 150 W, još veća. Njihova je snaga cijeli 1 W ili samo 22 dB ispod emitiranog signala, što je za 3,5 S-jedinice manje. Ondje, gdje se emitirani signal čuje sa $S_9 + 22$ dB emitirane smetnje će se čuti sa S_9 !

Tranzistor 2N5591 je na »ispitu« prošao nešto bolje, uz uvjet da nije prejako pobuđen (!). Kod njegovih korisnih 22 W, neželjene frekvencije imaju samo 20 mW snage, što je 30 dB ili za 5 S-jedinica manje. I to nije malo! U »lokalu«, gdje bi takav signal dolazio, recimo, sa $S_9 + 30$ dB emitirane smetnje bi dosežale do S_9 , onemogućujući svaku radiovezu na frekvencijama gdje bi se pojavile!

To je u skladu sa redovitim iskustvima koja svi imamo za vrijeme »CONTEST-a«, kad neki poželeva da iz svog »linearca« pod svaku cijenu »iscijede« što veću izlaznu snagu. Onda pojačaju pobudu i stvarno ih se jače čuje, čak na čitavom opsegu (HI). Radeći telegrafijom na početku opsega (144,00 do 144,15

Tablica 12-3. Odnosi izlazne snage i neželjenih produkata u nekim linearnim pojačalima snage za 144 MHz, uz normalne radne uvjete i pravilnu pobudu

Aktivni element u pojačalu	QQE 06/40	4X150A	2N5591
Pobudna snaga (W)	1,5	2	5
Korisna izlazna snaga (W)	50	150	22
Nivo produkata nelinearnosti	— 26 dB	— 22 dB	— 30 dB
Snaga neželjenih produkata (W)	0,125	1	0,02
Neželjeni produkti su slabiji od korisnog signala za (S-jedinica)	— 4,2	— 3,5	— 5

Tablica 12-4. Neželjeni produkti kod linearnog pojačala snage za 144 MHz, u ovisnosti o pobudnoj snazi kod elektronske cijevi 4X150A (uz anodni napon od 2000 V)

Pobudna snaga (W)	0,45	1,5	4,5	12
Istosmjerna ulazna snaga (INPUT, W)	220	320	500	(540)
Gubitak snage na zagrijavanje anode (W)	180	200	210	(240)
Korisna izlazna snaga (W)	40	120	284	270
Nivo produkata nelinearnosti	— 30 dB	— 24 dB	— 17 dB	— 9,5 dB
Snaga neželjenih produkata (W)	0,04	0,5	6	30
Neželjeni produkti su slabiji od korisnog signala za (S-jedinica)	— 5	— 4	— 3	— 1,5

MHz) okidaju i repetitor, iako on radi na znatno višoj frekvenciji! Iz iskustva znamo da to ponekad (!?) tako biva, ali neka i mjerenja kažu svoje. Evo rezultata na *tablici 12-4*. Ona je načinjena prema mjerenjima koja su također izvršena u dvometarskom opsegu. Vrijede za »linearno« pojačalo snage sa toliko »razvikanom« elektronskom cijevi 4X150A.

Postepenim pojačavanjem pobudnog signala postiže se sve jača izlazna snaga. Istovremeno se troši sve više električne snage (INPUT). Jedan dio uložene električne snage troši se na *zagrijavanje* anode u cijevi, što predstavlja gubitak. Drugi dio se troši na *proizvođenje korisne izlazne snage* (OUTPUT). Treći dio, a taj postaje sa povećanjem pobude i procentualno sve veći, odlazi u *proizvođenje neželjenih produkata*, frekvencija koje drugima smetaju. Dok je izlazna snaga te cijevi 40 W, neželjeni produkt su 30 dB ili za 5 S-jedinica slabiji. Oni imaju snagu od ukupno 40 mW. Kod 120 W izlazne snage, neželjene

frekvencije su prisutne već sa 0,5 W snage, što je samo 24 dB ili za 4 S-jedinice manje. Kod veće pobude postaje situacija još gora. Korisna izlazna snaga jest veća, ali neželjene frekvencije imaju snagu koja se može uporediti sa snagama drugih radio-stanica koje žele raditi u istom frekventnom opsegu!

Tablica 12-4 vrijedi, osim toga, samo onda, ako je pobudni signal sasvim čist, bez neželjenih podataka. Ako postoje distorzije već u pobudnim stupnjevima (*npr. previše »otvoren« mikrofonski »gain«*!) odnosi postaju još gori. Ovo moramo znati da izbjegnemo te nezgodne pojave. Inače će netko moći pomisliti da smo se, obzirom na druge amatere kojima pravimo smetnje, postavili na stanovište »bašmebriga!«

Ima danas i boljih elektronskih cijevi, sa znatno linearnijom karakteristikom rada. To su, *npr. »Thomsonova« cijev »TH-326«* ili »EIMAC 8873«, ali one su za amatersku gradnju preskupe. Ipak ih neke tvornice ugrađuju u linearna pojačala koja su namjenjena amaterima.

U gore navedenim tablicama smo vidjeli da je u linearnim pojačalima, kakva redovito upotrebljavaju radio-amateri, kod pune izlazne snage, uvijek prisutno i neželjenih frekvencija koje imaju *snagu samo za 5 S-jedinica slabiju, u najboljim slučajevima!* I to može smetati, osobito lokalnim amaterima, da ne govorimo o susjedima i o smetnjama na njihovim radio-aparatima i televizorima! Ima li izlaza iz ove neugodne situacije? Ima!

Izlaz iz neprilika, koje mogu proizvesti neželjene frekvencije, je spriječiti da budu emitirane! To se može postići *obaveznom upotrebom filtera između izlazne priključnice snažnog pojačala i antene!* Primjeri takvih filtera za UKV predajnike opisani su u poglavlju 22. Važna je i dobra resonantna i prilagođena antena (poglavlje 19).

Pojačala snage za 144 MHz s elektronskim cijevima

Elektronske cijevi QQE03/12 i QQE06/40, rjeđe QQE03/20, nalaze se u amaterskim dvometarskim radio-stanicama kao izlazno pojačalo snage. Te elektronske cijevi mnogi amateri vrlo rado upotrebljavaju i u svojim gradnjama. Što se tiče cijene, barem na tržištu za amatere, cijev za veću snagu ima nižu cijenu od odgovarajućeg tranzistora. Kod manjih snaga je često, obrnut odnos cijena.

Snaga od 50 do najviše 200 mW nije dovoljna za direktno pobuđivanje dvostruke tetrode QQE03/12. Zato je u linearnom pojačaju (sl. 12-10) ispred ove izlazne cijevi postavljena dvostruka trioda ECC81. Antenska priključnica tranzistor-skog primopredajnika spaja se, preko koaksijalnog kabela, na ulaz linearnog pojačala, kod TX/RX. Ako su preklopnici A i B u nacrtanom položaju, tranzistorski primopredajnik je spojen direktno na antenu (*Ant*). Prebacimo li preklopnike u drugi njihov položaj, signal iz

primopredajnika odlazi na katode cijevi ECC81. Oba triodna sistema spojena su paralelno. Obje mrežice su najkraćim mogućim putem spojene sa šasijom. U anodnom strujnom krugu se pojavljuje pojačani UKV signal i, preko titrajnog kruga sa zavojnicom L_2 , pobuđuje izlaznu cijev. Ona radi u klasi AB. Njen prednapon treba potencijetrom (10 kΩ) namjestiti na optimalnu vrijednost kod koje će mjerni instrument *M* pokazivati mirnu anodnu struju, dok nema nikakve pobude, oko 15 mA.

Uz pobudu, kod telegrafije, anodna struja smije porasti do 2×35 mA, najviše 2×45 mA (najduže 10 sekundi!). Izlazna snaga doseže, ako je sve pravilno ugođeno, oko 15 W.

Uz pobudu valom nosiocem koji je amplitudno moduliran struja također postoji veća. Dok djeluje sam val nosilac, bez modulacije, anodna struja smije doseći (za oba sistema!) vrijednost do 30 mA, uz INPUT između 6 i 7 W. Uz pobudnu snagu od 100 mW, izlazna snaga za sam val nosilac je oko 4 W. U vrhovima anodne modulacije izlazna snaga raste do 14 W. Zato nije dozvoljena jača pobuda. Lako bi došlo do izobličenja (i »splatera«!). Kod modulacije se mijenja jakost anodne struje, koja u *prosjecku* (instrument *M*!) jedva postaje nešto jača. Struja drugih mrežica cijevi QQE03/12 naraste. Njihov napon zato pada pa se može činiti da je modulacija »negativna«. To je samo prividno jer kod jače modulacije postane uslijed pada napona drugih mrežica i sam val nosilac slabiji. Bolje bi bilo stabilizirati taj napon, što ovdje nije učinjeno. Da napon drugih mrežica ne bi suviše »sкакao« kod modulacije moraju zaštitne mrežice biti blokirane i za visoku (1,5 nF) i za nisku frekvenciju (8 μF).

Kod pojačanja SSB-signala prosječna jakost anodne struje neka ne bude (na miliampermetru!) iz-

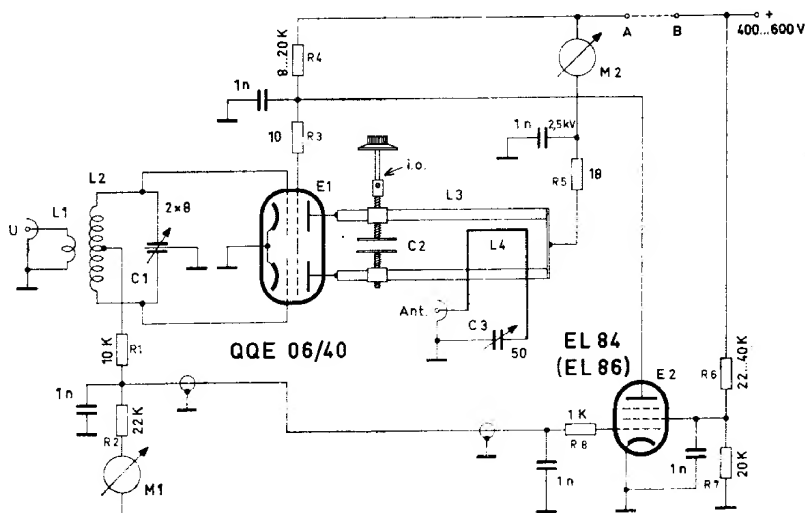
Izlazni dvometarski PA sa QQE 06/40 i zaštitnom cijevi

Dvometarskim izlaznim pojačalom (PA), sl. 12-11, može se postići INPUT od 90 do 120 W. Istosmjerni napon ne prelazi 600 V, a dovoljno je hlađenje cijevi prirodnom cirkulacijom zraka. Izlazna snaga (OUTPUT) dosiže oko 70% ulazne, tj. između 60 i 80 W. Za pobudu je potrebna snaga od 5 W, ne uračunavši gubitke. Pobuda se za 144 MHz dovodi preko L_1 na titrajni krug L_2 C_1 . Zavojnica L_2 ima odvojak u sredini. Ovaj, zajedno s dvostrukim promjenljivim kondenzatorom od 2×8 pF, osigurava potrebno protufazno pobuđivanje prvih mrežica dvostruke tetrode QQE06/40. Njezin prednapon se postizava isključivo padom napona na otporu $R_1 + R_2$ i on postoji samo dok traje pobuda. Ako bi ova nestala, kroz cijev bi potekla prejak anodna struja. Da se to ne dogodi, dodana je zaštitna cijev E_2 (»clamp-tube«). Čim nestane pobude, ostane i ona bez prednapona. I kroz nju poteče jaka anodna struja koja padom napona na otporniku R_4 toliko sma-

nji napon zaštitnih mrežica cijevi E_2 da QQE06/40 ne može biti preterećena. Dok god je cijev E_1 pravilno pobuđena, njezin prednapon je vrlo velik (do 80 V). Prednapon djeluje i na cijev E_2 (EL84 ili EL86). Budući da je on više nego dovoljan da se sasvim prekine svaki tok električne struje kroz nju, ona je praktički izvan pogona i izlazni stupanj radi kao da ove zaštitne cijevi nema.

U anodnom strujnom krugu cijevi QQE06/40 umjesto zavojnice nalazi se induktivitet u obliku »leher-skog« resonatora. Ovaj se sastoji od dva, međusobno paralelna, 10 cm dugačka komada bakrene posrebrene cijevi s vanjskim promjerom od 9 do 10 mm. Razmak među njima je 25 mm. Na jednom kraju su kratko spojene mjedenićim (mesinganim) limom, debljine 2 mm, koji je također posrebran. U sredinu ovog kratkospojnog mosta dovodi se anodna struja, preko R_5 .

Promjenljivi kondenzator C_2 čini mehaničku cjelinu s leherskim resonatorom. Dvije mjedene prizme, veličine $12 \times 12 \times 14$ mm, zalemljene



Sl. 12-11. Izlazno dvometarsko pojačalo snage. Cijev E_2 (EL84 ili EL86), ima zadatak da zaštiti cijev QQE06/40 (E_1) kad nema pobude. Vidi tekst

su na bakrenim cijevima, 41 mm od otvorenog kraja resonatora. Kroz ove prizme i kroz cijevi su probušene rupe sa finim narezom. Tu su ušarafiljeni nosači okruglih kondenzatorskih pločica promjera 44 mm. Budući da i nosači imaju narez, mogu se kondenzatorske pločice jedna drugoj više ili manje približiti i tako mijenjati kapacitet. Sam narez mora biti finiji nego je normirano za odabrani promjer nosača. Ako su za nosače odabrane okrugle mjedene šipke, promjera 6 mm, moguće je na njih narezati normalni milimetarski narez. Taj bi, međutim, sa svojim hodom od 1 mm bio pregrub. Bolje je na tokarskom stroju narezati navoje sa hodom od 0,75 ili 0,5 mm tako da se udaljenost između kondenzatorskih pločica može vrlo fino mijenjati. Razumije se da nosači moraju vrlo dobro pristajati u nareze, načinjene u mjedenim prizmama, da međusobni kontakt bude stalno vrlo dobar.

Resonator L_3 treba zajedno s kapacitetom C_2 montirati tako da mehanički ne opterećuje cijev E_1 . Zato ga moraju držati stupići od izolacionog, najbolje keramičkog materijala. Na obje anode dvostruke tetrede treba staviti originalne priključnice i ove spojiti s resonatorovim otvorenim krajevima pomoću limenih traka, širokih oko 6 mm i dugačkih do 3 cm. Trake neka budu iz mekanog bakra debljine oko 0,3 mm. Dobro je da i one budu posrebrene.

Pokazalo se da do resonancije dolazi kad je razmak između kondenzatorskih pločica C_2 oko 3 mm. Pri tome treba paziti da se to postigne onda, kad su obje pločice baš usred razmaka među cijevima resonatora, što tačnije simetrično. Jedan od nosača mora biti produžen izoliranom osovinom (i.o.) da se kapacitet C_2 može izvana mijenjati dugmetom.

L_4 je petlja od žice koja služi kao antenska zavojnica. Ona je načinjena od 1,3 do 1,5 mm, debele,

izolirane bakrene žice, savijene u okvir veličine $7 \times 2,5$ cm.

Miliampermetar M_1 (do 5 mA) služi za kontrolu pobude, a M_2 (do 200 mA) za kontrolu jakosti anodne struje.

Izlazni stupanj za pobudu ovog snažnog pojačala treba da ima na izlazu barem cijev QQE03/12. Pomoću cijevi EL84 obično se ne može QQE06/40 dovoljno pobuditi!

Za prvo ugađanje treba na izlaz umjesto antene najprije priključiti pogodno opterećenje. Najbolje je staviti lažnu antenu koja ima neinduktivni otpor od 50 Ω i opteretivnost oko 50 W. U većini slučajeva se neće naći nešto takova. Amater će obično posegnuti za nekom žaruljom. Njezina snaga neka odgovara očekivanoj izlaznoj snazi, oko 60 do 75 W. Pri tome je žarulja od 110 V/60 W bolja od one za 220 V/60 W, jer joj je vlastiti omski otpor manji.

Zatim treba na koaksijalnu priključnicu U spojiti izlaz pobuđivača. To može biti bilo koji dvometarski predajnik s dovoljnom izlaznom snagom. Za pobudu je potrebno napon manje 5 W ali, ako se uzmu u obzir gubici, bolje je 8 do 10 W. Uključimo grijanje cijevi u izlaznom pojačalu i — dok mu je anodni napon *isključen* — dovedimo C_1 u resonanciju. Izlaz pobuđivača i induktivna veza između L_1 i L_2 moraju biti tako ugođeni da miliampermetar M_1 pokazuje struju prvih mrežica jaku *ukupno* 4 mA.

Ako smo prethodno pomoću grid-dip-metra »na hladno« doveli L_3C_2 do resonancije na 144 MHz, možemo sada uključiti i anodni napon. Kapacitet C_2 treba popraviti tako da se na mjernom instrumentu jasno vidi »dip«, tj. *minimum* jakosti anodne struje. To je dokaz da je i izlazni titrajni krug ugođen na frekvenciju pobuđivača.

Priključena žarulja sada možda već malo svijetli. Promjenom položaja petlje L_4 u odnosu prema L_3 ,

kao i mijenjanjem kapaciteta kondenzatora C_3 , treba postići da žarulja maksimalno svijetli. Pri tome jakost anodne struje postaje jača pa treba korekcijom vrijednosti kapaciteta C_2 uvijek nanovo uspostavljati resonanciju.

Konačno možemo još pokušati da pažljivim mijenjanjem vrijednosti za R_2 i za R_4 postignemo što veću izlaznu snagu, pazeći da ne pređemo dopušteno opterećenje same cijevi. Njezine anode se ni u kojem slučaju ne smiju žariti!

Kad se priključi prava antena, treba ugađanje izlaznog titrajnog kruga popraviti.

Označene vrijednosti za otpornik R_6 vrijede za navedeni raspon anodnog napona. Ako je anodni napon 400 V, R_6 će biti 22 k Ω ; ako je on 600 V, R_6 neka bude 40 k Ω .

Ako ugođeni izlazni stupanj ostane bez pobude, kako smo već rekli, to nema nikakvih štetnih posljedica jer je ovdje cijev E_2 koja odmah smanji napon na drugim mrežicama tetrode E_1 . O tome se možemo lako uvjeriti voltmetrom (barem 10 k Ω /V) koji možemo priključiti između šasi je i anode cijevi E_2 .

Linearno pojačalo snage za 144 MHz

Linearno pojačalo snage za dvometarske signale može se načiniti prema sl. 12-12. Ulazni titrajni krug se bitno ne razlikuje od onoga u predašnjem primjeru. Jedina je razlika u tome da je ovdje dodan kondenzator C_1 kojemu je zadaća da olakša ugađanje pobude. Prednapon je stalan. On iznosi oko 27 V i treba ga uzimati iz stabiliziranog izvora, npr., uz upotrebu Zenerove diode za taj napon. I zaštitne mrežice se napajaju stabiliziranim naponom. On se postiže serijskim spojem dviju stabilizatorskih cijevi, OA2 i OB2. Jedna je za napon, od 150 V a druga za 100 V. Rezultirajući napon je prema tome oko 250 V.

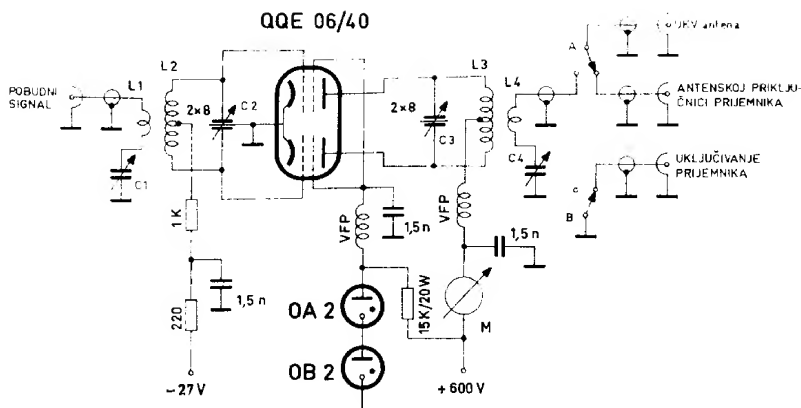
Izlazni titrajni krug ima induktivitet L_3 koji je samo simbolički nacrtan kao zavojnica. Bolje je na ovome mjestu upotrijebiti petlju, načinjenu od 8 do 10 mm debele bakrene cijevi. Kraci petlje neka budu 10 cm dugački i međusobno paralelni na razmaku od 2,5 cm. Moguće je, dakako, i ovdje staviti izlazni titrajni krug koji smo opisali u predašnjem primjeru (sl. 12-11). Ipak neće svakome biti moguće da načini sve onako kako je tamo opisano, budući da za onakvu izvedbu resonatora treba tokarski stroj (strug) za obradu metala. U izlazni titrajni krug može se staviti dvostruki promjenljivi kondenzator kapaciteta 2×8 pF, uz uvjet da ima veći razmak među svojim pločama. Zajedničke rotore takvog kondenzatora ne treba uzemljivati ili spajati sa šasijom. Tada će kondenzator lakše podnijeti razmjerno veliko naponsko opterećenje. Petlju L_4 možemo također načiniti prema opisu u predašnjem primjeru.

Visokofrekventne prigušnice (VFP) su obične UKV-prigušnice koje i sami lako načínimo. Za svaku treba po 50 cm lakirane bakrene žice 0,3 do 0,4 mm, namotane na tijelu promjera 3 do 4 mm. Kao tijelo za namatanje prigušnice može poslužiti i običan »bužir«, izolacijska cijev koja se inače navlači preko žica.

Ovo linearno pojačalo radi u klasi AB. Dok nema signala treba prednapon odabrati tako da anodna struja koju pokazuje miliampermetar M bude 40 do 45 mA.

Za linearno pojačanje SSB signala na 144 MHz smije se anodni napon povećati na 750 V da se uz nepromijenjene vrijednosti sastavnih dijelova dobije izlazna snaga od 74 W vršne vrijednosti.

Malo slabiji signal, čisto moduliran, je uvijek razumljiviji od jačeg, ali loše moduliranog signala. Kod prevelike pobude javljaju se i tzv. »splateri«, tj. o modulaciji ovisne smetnje koje se čuju kao



Sl. 12-12. Linearno pojačalo snage za 144 MHz. Ovakav PA može poslužiti za pojačanje snage CW, AM, FM i SSB signala. $C_1 = C_4 = 50 \text{ pF}$; $C_2 = 2 \times 8 \text{ pF}$; $C_3 = 2 \times 8 \text{ pF}$, s većim razmakom među pločicama; A, B = preklopnik prijema-predaja ili kontakti releja s jednakim zadatkom; M = miliampermetar do 250 mA. Ostala objašnjenja u tekstu

neko kreštanje u širokom opsegu oko radne frekvencije. Ne samo da takve pojave otežavaju održavanje veze, već također jako smetaju i ostalim amaterima. Kod prejake pobude ćemo doduše dobiti veću izlaznu snagu, ali ona je razasuta u širok opseg od čega nema nikakve koristi! Prvi znak da nam je pobuda prejaka neka bude upozorenje korespondenta da »dolazimo« široko na skali njegovog prijemnika. Signal povećane »širine« je loš znak koji se popravlja smanjenjem pobude!

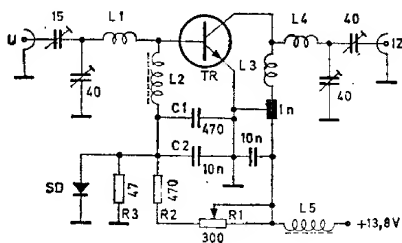
Umjesto cijevi QQE06/40 može se upotrebiti QQV06/40 ili cijev 5894, bez ikakvih promjena. Uz nešto izmijenjene podatke za radnu tačku i za titrajne krugove može poslužiti i cijev 829-B, kao i njoj slične. Napominjemo da 829-B ima veće vlastite kapacitete, što treba uzeti u obzir.

Po jednakoj shemi se mogu upotrebiti i cijevi 832-A, QOE04/20 i QOE03/20. Izlazna snaga će biti manja. Radnu tačku treba, dakako, odabrati prema fabričkim podacima za odabranu cijev.

Linearno UKV pojačalo snage sa jednim tranzistorom

Shemu tranzistorskog linearnog UKV pojačala prikazuje sl. 12-13. Na ulaz U dovodi se signal koji želimo pojačati. Ulazni titrajni krug ima zavojnicu L_1 . Ona je jednim svojim krajem u vezi sa bazom tranzistora TR (2N3375, BLY23, BLY22, BLY36, 2N3632 ili sl.). Drugim svojim krajem je zavojnica L_1 spojena na kapacitivni razdjelnik kojim se ulazni titrajni krug može dovesti u rezonanciju i, ujedno, optimalno prilagoditi uređaju otkuda dolazi pobudni VF signal.

Kad bi UKV-prigušnica L_2 bila spojena direktno između baze i emitera, mogla bi kolektorska struja poteći tek onda, kad amplituda ulaznog VF signala na bazi bude veća od 0,6 V. Manje amplitude ne bi mogle »otvoriti« tranzistor. To je zato jer se takav tranzistor, između svoje baze i emitera, ponaša kao silicijeva dioda. U ispravljačima su naponi redovito znatno veći pa ovo svojstvo diode ne smeta. Ni odgovarajuće svojstvo tranzistora ne smeta u drugim pojačalima »sna-



Sl. 12-13. Tranzistorsko linearno pojačalo za 144 MHz

ge budući da se baza stavlja na potreban veći VF potencijal.

Ovdje treba bazu tranzistora dovesti na određeni viši potencijal kojim se može osigurati da pojačalo radi u klasi AB. To se postiže silicijevom diodom SD. Kroz nju teče električna struja kojoj je jakost određena visinom pogonskog napona i otpornicima R_1 , R_2 i R_3 . Otpornik R_1 je promjenljiv pa se njime može jakost struje odabrati kako je potrebno. Pad napona na diodi SD služi kao prednapon za bazu tranzistora TR. On mora biti tolik da se tranzistor »otvori«. Dok nema signala na ulazu pojačala, mora poteći kolektorska struja jaka barem 10 do 15 mA ili više (ako je potrebno za odabrani tranzistor).

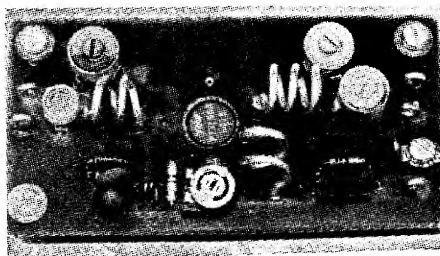
Da »donji« kraj prigušnice L_2 bude bez visokofrekventnih potencijala, da bude »hladan«, prednaponski izvor je blokiran kondenzatorima C_1 i C_2 .

Zavojnice L_3 i L_4 pripadaju izlaznom titrajnom krugu. Njihova zajednička tačka predstavlja neku vrstu odvojka na induktivitetu koji čine obje zavojnice. »Hladni« kraj titrajnog kruga (donji kraj zavojnice L_3) blokiran je također s dva kondenzatora, s jednim većeg (10 nF) i jednim manjeg kapaciteta (1 nF). Kolektorski strujni krug ima malu impedanciju pa je priključen samo na dio induktiviteta. Preostali induktivitet (L_4) pripada ujedno izlaznom PI-filtru. Njegov kapacitet formiraju dva trimerska kondenza-

tora, spojena kao kapacitivni razdjelnik. Oni služe za postizanje resonancije i za prilagođenje na izlaz IZ. Izlazna impedancija mora odgovarati karakterističnom otporu antenskog koaksijalnog kabela.

Za pogon je predviđen napon od 12 do 15 V. Označena vrijednost (13,8 V) je u sredini tog raspona. Struja se pojačalu dovodi preko UKV-prigušnice L_5 . Ova može biti jednaka prigušnici L_2 . Za dvometarski opseg možemo ove prigušnice namotati od komada žice, dužine 45 do 50 cm, na promjeru 3 do 4 mm, žicom 0,3 do 0,4 mm, CuL. Dobro mogu poslužiti i tzv. širokopojasne UKV prigušnice, načinjene tako da je žica provučena kroz 6 kanalića u malim feritnim valjčićima pa se dobiju 2,5 zavoja. Takve prigušnice su bile upotrebljene i pri gradnji linearnog, dvometarskog pojačala koje se vidi na sl. 12-14.

Pločica od »vitroplasta«, obložena bakrenom folijom, poslužila je za izradu štampanih vodova, sl. 12-15, i za smještaj svih sastavnih dijelova, sl. 12-16. Format pločice je 88 × 45 mm. Tranzistor se vidi kroz otvor u sredini, a pričvršćen je na aluminijsku ploču, debelu 6 mm, zbog hlađenja. Štampana pločica također je na tu aluminijsku podlogu pritegnuta pomoću četiri vijka. Potreban razmak je osiguran valjčastim, šupljim stupićima.



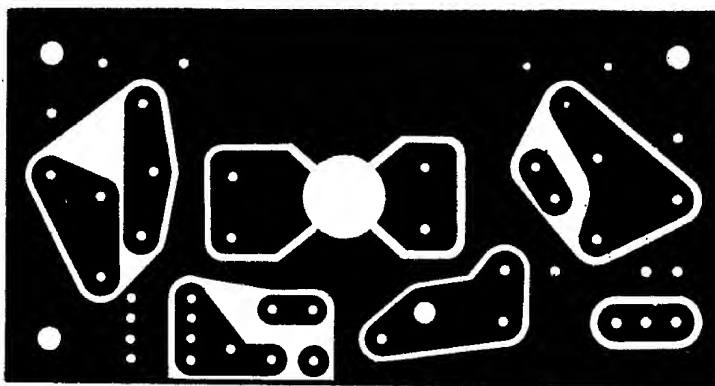
Sl. 12-14. Izgled dvometarskog linearnog pojačala prema sl. 12-13

Zavojnice su motane sa unutrašnjim promjerom od 6,5 mm. L_1 ima 2 zavoja, razvučena na dužinu od 8 mm. L_2 ima također 2 zavoja. Njena je dužina 10 mm. Zavojnica L_3 ima 3 zavoja i duga je 11 mm. Sve su načinjene od posrebrene bakrene žice, debele 1 mm.

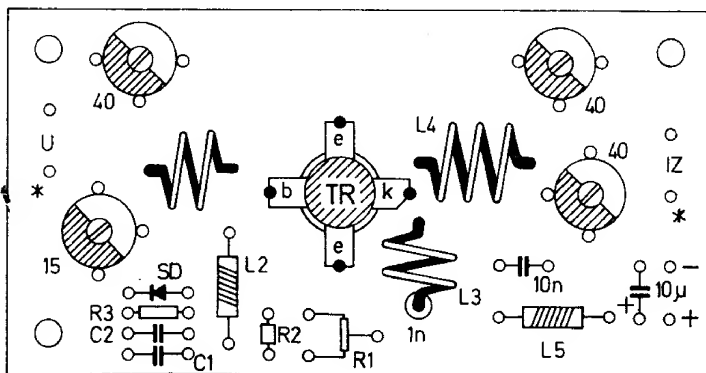
Za prvo ugađanje najbolje je na izlaz pojačala priključiti, preko SWR-metra, neinduktivni otpor od 50 do 60 Ω (vidi poglavlje 21). Na ulaz linearnog pojačala može se spojiti bilo kakav mali UKV davač sa izlaznom snagom između 50 i 300 mW. Pažljivim okretanjem tri-

mera na ulazu i na izlazu pojačala treba postići da izlazna snaga bude maksimalna.

Linearno pojačalo koje je bilo sagrađeno za pokus dalo je približno deseterostruko pojačanje snage. Snaga dvometarskog signala porasla je od 300 mW na približno 3 W (OUTPUT). Kolektorska struja kod takve pobude doseže oko 500 mA (INPUT oko 6 W). Kod SSB-signala vršne vrijednosti izlazne snage smiju doseći 10 do 12 W (ovo se može provjeriti samo osciloskopom!). Maksimalnu izlaznu snagu, kolika



Sl. 12-15. Štampana pločica za tranzistorsko linearno pojačalo, prema shemi na sl. 12-13 (88 × 45 mm)



Sl. 12-16. Raspored dijelova na štampanoj pločici sa sl. 12-15

je dopuštena prema tvorničkim podacima za upotrebljeni tranzistor, možemo trajno koristiti samo kod telegrafije i kod pojačavanja dvometarskih frekventno moduliranih signala.

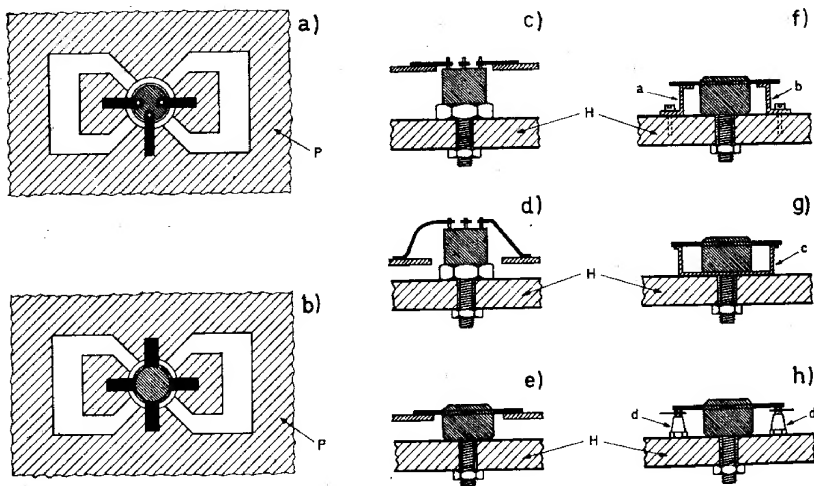
Preporuke za postupak sa snažnim tranzistorima za UKV

Za montažu i spajanje snažnih tranzistora za rad na UKV-frekvencijama treba se držati, koliko je više moguće, određenih pravila. Ta pravila ilustrira sl. 12-17.

Danas postoje uglavnom dvije vrste tranzistora koji su namijenjeni za pojačala snage na frekvencijama u UKV opsezima. Po vanjskom izgledu i po materijalu iz kojega je načinjeno kućište razlikujemo metalne i plastične. I jedni i drugi imaju vijak za učvršćivanje na hladilo (hladnjak), prvi imaju na svom gornjem kraju tri izvoda, dok drugi — moderniji — imaju tri, ili još bolje četiri, izvoda načinjena iz limene trake. Ako postoje

tri izvoda, onda su na njih izvedene tri elektrode: emiter, baza i kolektor. Ako postoje četiri izvoda, onda za jednu od tih elektroda postoje dva izvoda. To je ona koju treba staviti na »multi« potencijal, spojiti sa »šasijom«, odnosno »uzemljiti«. Koja je od elektroda na kojemu izvodu, ovisi o tvornici. Najbolje je taj podatak uzeti iz tvorničkih prospekata o upotrebljenom tranzistoru. Danas se obično uzemljuje emiter koji je kod nekih tranzistora ove vrste spojen i na vijak za učvršćivanje i još na jedan ili na dva izvoda, da uzemljenje te elektrode bude što bolje. Za neke starije tipove tranzistora tvornica preporučuje uzemljivanje baze, ali takvi jedva da bi odgovarali za opisane predajnike.

Izvode snažnih tranzistora za ultravisoke frekvencije *nije dosta* jednostavno spojiti u određene strujne krugove. Jednako je važno i to *kako* se ti spojevi načine! Obito je važno *da svi priključci budu što je moguće kraći!* To vrijedi



Sl. 12-17. Primjeri pravilne i nepravilne montaže i spajanja tranzistora koji se primjenjuju u UKV predajnicima. Vidi tekst

i za uzemljenja! Na sl. 12-17 vidimo da je, npr. za spajanje tranzistora na vodove štampanih pločica potrebno predvidjeti takav način montaže i lemljenja priključnica da svi vodovi imaju *što manji induktivitet*. U primjeru (a) i (c) je crtež tranzistora sa metalnim kućištem koji ima tri izvoda. Najbolje je da se spojevi s njima načine pomoću bakrenih *traka*, širokih do 3 mm. koje ne smiju biti *ni dugačke ni savinute*. Trake imaju manji induktivitet od žica, ali se on povećava ako je traka dugačka i ako je savinuta, kao u primjeru (d). Ne bi trebalo savijati trake ni prema dolje ni prema gore. One moraju ostati *ravne i što kraće*. U tu svrhu mora pločica sa vodovima i drugim sastavnim dijelovima biti podignuta u odgovarajuću visinu iznad hladila *H*, primjer (c). Isto vrijedi i za plastične tranzistore. Ako je elektroda koja se mora uzemljiti izvedena na dva kraja, treba *svaki* od tih izvoda najkraćim i najdirektnijim putem uzemljiti, kao na crtežu u primjeru (b) i (e). Uz kraće vodove, uz direktnija uzemljenja, i izlazna snaga predajnika će biti veća! Predugački vodovi mogu potpuno onemogućiti pravilan rad tranzistora.

Ne mora se uređaj uvijek graditi na pločicama sa štampanim vodovima, ali i onda treba nastojati da svi spojevi budu načinjeni što kraće. Posebnu pažnju treba posvetiti uzemljivanju tranzistorovih elektroda za koje je to određeno. Najbolje je da uzemljenje ostvarimo malim limenim kutnicima, kao što su *a* i *b* na sl. 12-17f. Njih treba načiniti iz trake bakrenog lima, široke 5 do 6 mm. U primjeru (g), na istoj slici, vidi se kako takva traka može biti savinuta, *c*, da se učvrsti ispod tranzistora. Takvo uzemljenje je dobro, ali tranzistor

je udaljen od hladila, što u nekim slučajevima smanjuje potrebno odvođenje topline, pa radna temperatura tranzistora postaje veća. Spojeve sa ostalim elektrodama, koje treba uključiti u druge strujne krugove, ne valja načiniti jednostavnim lemljenjem na pripadajuće sastavne dijelove. Za tranzistorske priključne trake treba predvidjeti posebne male izolirane držače (označeni su slovom *d* na sl. 12-17h), da se tranzistorski izvodi ne otkinu.

Hlađenje tranzistora treba uvijek osigurati u dovoljnoj mjeri. Dok tranzistor koji je određen za rad sa velikim opterećenjem nije dobro pričvršćen na hladilo ne bi se uređaj smio uključivati *ni na najkraće vrijeme*. Hlađenje je najbolje ako se između tranzistora i metalne ploče hladila stavi tanak sloj silikonske masti koja će osigurati bolji termički kontakt i bolje odvođenje topline iz tranzistora na hladilo. Tranzistor se u opisanom predajniku, kad je sve dobro ugrađeno i pravilno opterećeno, uredno hladi onda kad je temperatura tranzistora jedva malo različita od temperature hladila.

Tranzistor bi trebalo najprije učvrstiti na hladilo, a onda tek zalemiti njegove izvode kamo treba. Onaj koji to načini obrnutim redom može lako otkinuti izvode. To bi značilo uništiti tranzistor, a takvi tranzistori nisu baš jeftini!

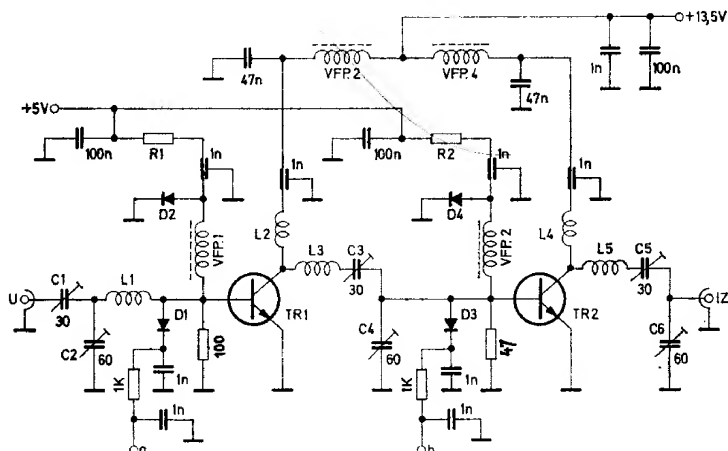
Dvometarsko linearno pojačalo snage s dva tranzistora

Vrlo često nam neće biti dovoljno pojačanje snage samo sa jednim stupnjem. Na sl. 12-18 vidimo shemu dvometarskog linearnog pojačala snage sa dva tranzistorska stupnja. Prototip ovog pojačala vidi se na sl. 12-19. Upo-

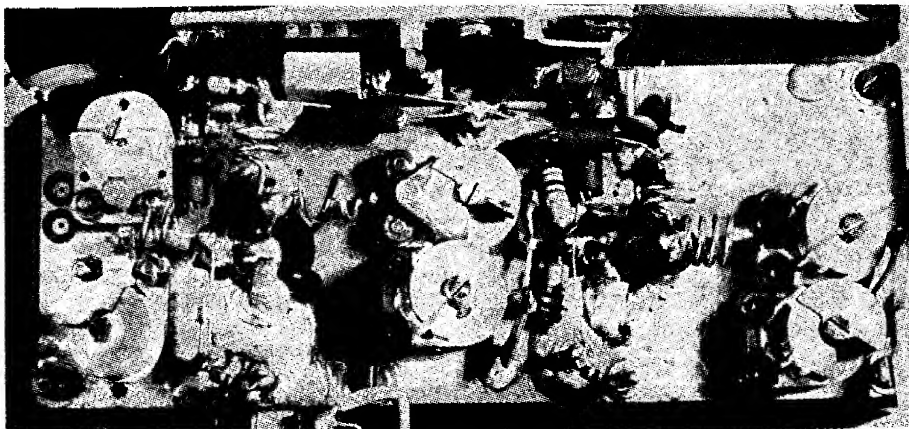
trebali smo tranzistore 2N3375 i 2N3632, ali se mogu upotrebiti neki slični tranzistori (npr. 40281 i 40282 ili bilo kakav »par« tranzistora, od kojih prvi mora davati dovoljnu izlaznu snagu za pobudu drugoga).

Potreban mali *prednapon* za rad u klasi AB postiže se pomoću silicijevih dioda D_2 i D_4 , koje se napajaju strujom preko otpornika R_1 i R_2 iz izvora konstantnog napona od 5 V. Taj se napon mora stabili-

zirati. Otpornici R_1 i R_2 moraju se odabrati tako da prvi i drugi tranzistor budu tek toliko »otvoreni« da im jakost kolektorske struje bude dovoljna za što linearniji rad. Vrijednosti ovih otpora nisu naznačene, jer one ovise o izabranim tranzistorima. Njihovu vrijednost treba *odrediti pokusom i mjerenjem* kolektorskih mirnih struja. Za prvi tranzistor ona mora biti najmanje 10 do 15 mA. Za drugi negdje oko



Sl. 12-18. Shema linearnog pojačala snage za 144 MHz koje ima dva stupnja. Opis u tekstu



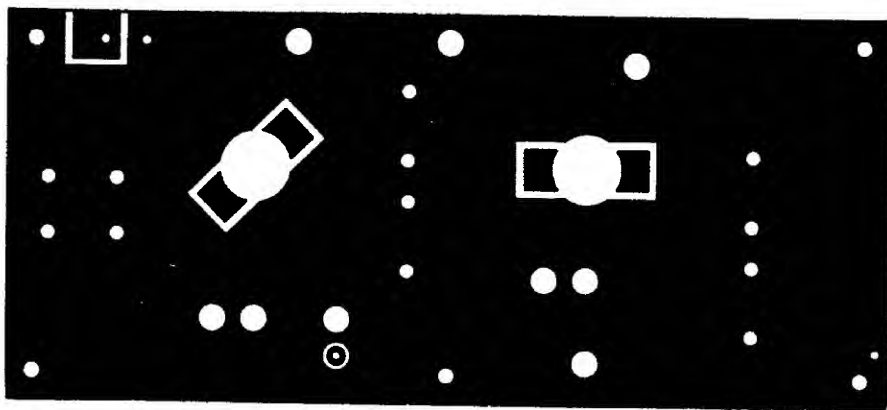
Sl. 12-19. Pogled na pojačalo snage, prema shemi na sl. 12-18

20 do 40. Kriterij za to je samo rad pojačala. Radna tačka će im biti pravilno odabrana ako se tranzistori *ne zagrijavaju* previše (smiju biti sasvim malo topli, ako nema pobude! Ovo uz pretpostavku da su na dobrom hladilu), i *da pojačavaju bez izobličenja*.

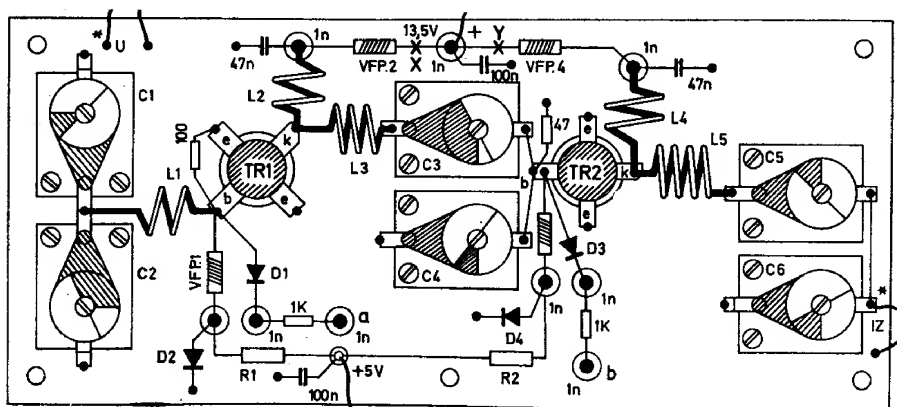
Bakrom kaširanu pločicu od vitroplasta, na koju ćemo montirati sve sastavne dijelove, možemo načiniti prema sl. 12-20. Mi smo za prototip upotrebili vitroplast koji je imao bakreni sloj samo na jednoj strani. Dijelovi su montirani na

tu istu pobakrenu stranu. Dimenzije pločice su 160×70 mm. Raspored dijelova na njoj vidi se na sl. 12-21. Tu su svi sastavni dijelovi nacrtani u pravim međusobnim odnosima veličine. Čak su i zavojnice nacrtane »onakve, kakve jesu« sa odgovarajućim brojevima zavoja, smjerovima namatanja i u »pravoj« prostornoj orijentaciji. Sve su motane preko svrdla (burgije) promjera 8 mm i zalemljene na svoja mjesta slobodno, bez ikakvog tijela.

Za ugađanje linearnog pojačala vrlo je korisno da se ugrade male



Sl. 12-20. Bakrom kaširana pločica vitroplasta za gradnju linearnog pojačala snage za 144 MHz, prikazanog na sl. 12-19. Format pločice je 160×70 mm



Sl. 12-21. Raspored sastavnih dijelova na pločici, sl. 12-20. Vidi tekst

silicijske diode D_1 i D_3 . Njihova je jedina zadaća da nam pomognu upravo kod toga. Kad smo odabiranjem otpornika R_1 i R_2 približno postigli da su mirne kolektorske struje tranzistora na donjim vrijednostima koje su bile ranije spomenute, prekinemo struju napajanja!

Na ulaznu priključnicu, preko koaksijalnog kabela spojimo izvor UKV signala koji želimo pojačati. Zatim kod a priključimo »+« nekog voltmetra (osjetljivost barem 10 k Ω /V, opseg mjerenja do 5 V). Negativni pol voltmetra spojimo na bakar vitroplast-pločice. Sada možemo ugoditi ulazni titrajni krug pažljivim okretanjem kondenzatora C_1 i C_2 sve dok postignemo jasan maksimalni odklon kazaljke voltmetra.

Kad smo to postigli, još uvijek bez napona za napajanje (!), možemo pozitivni pol voltmetra premjestiti na priključnicu b , kod diode D_3 . Ako je pobuda koja stiže na ulaz U dovoljno jaka, moći ćemo ugoditi i drugi titrajni krug, kondenzatorima C_3 i C_4 , na jasan maksimum odklona kazaljke voltmetra.

Na izlaznu priključnicu IZ , preko koaksijalnog kabela, spojimo neinduktivni otpor od 50 Ω , smanjimo pobudu na ulazu i priključimo pogonski napon od samo 7 do 8 V. Kondenzatorima C_5 i C_6 opet nastojimo postići maksimum, ovaj puta na voltmetru koji je priključen na spomenuti otpor od 50 Ω (»lažna« antena, vidi u poglavlju 21). Kad smo postigli maksimum, treba pažljivo popraviti resonanciju sa C_1 i C_2 , kao i sa C_3 i C_4 . Izlazni napon, mjeren na priključenom opteretnom otporniku (50 Ω) postaje veći.

Kad smo i to postigli, malo po malo povećavamo napon napajanja i svaki put, redom, dovodimo titrajne krugove u resonanciju. Kad smo tako došli do punog pogonskog napona od 13,5 V i postigli na svim kontrolnim priključnicama (a , b i na izlazu) što izraženiji maksimum, pipnimo tranzistore. Nismo,

valjda, čitavo to vrijeme imali uključenu pobudu?! Bilo je potrebno između pojedinih mjerenja i ugađanja (ne duže od tridesetak sekundi za svako!) prekidati pobudni signal. Ako smo tako radili tranzistori neće biti vrući. Ako su se, kad je sve ugođeno, nakon dvije minute ugrijali toliko da ih još možemo držati rukom (da ne peče!), bit će vjerojatno sve u redu. Potrebno je ipak, dok su tranzistori još topli, kontrolirati koliko su jake kolektorske struje mirovanja (bez pobude!). One će biti sada više. Ukoliko su prešle gornju granicu ranije navedenih vrijednosti, treba otpornike R_1 i R_2 malo povećati, da se kolektorske mirne struje malo smanje.

Ukoliko nemamo neinduktivnu lažnu antenu s priključkom za voltmetar, možemo između priključnice IZ i 50-omskog opterećenja staviti SWR-metar i na njemu promatrati odklone dok postignemo maksimum.

Za telegrafiju i za FM-telefoniju može se postići, uz dovoljnu pobudu, izlazna snaga od 10 do 12 W. Za pojačanje SSB-signala pobuda ne smije biti prevelika, tek tolika da se postigne prosječna izlazna snaga od približno 3 W. Vršna snaga (koju ne može pokazati običan voltmetar, tzv. PEP) sigurno će dosezati četverostruku vrijednost (12 W). Inače, uz jaču pobudu, postoji rizik izobličavanja i proizvodnje »širokog« signala uz smetnje amaterima na opsegu, radio-prijemnicima i televizorima. Da se od tih pojava osiguramo, potrebno je između izlaza ovog pojačala i antene staviti filter i ispitati koliko pobudu smijemo upotrebiti da ne bude prejaka. Uz ostalo to ovisi i o upotrebljenim tranzistorima, ali također o izboru mirne kolektorske struje. Nju možemo, možda, još malo popraviti.

Nikad ne treba tranzistorsko snažno pojačalo stavljati u pogon bez uključenog izlaznog opterećenja. Na izlazu se mogu pojaviti ta-

ko veliki vršni visokofrekventni naponi da probiju izvanredno tanke slojeve poluvodiča u tranzistoru! I neprilagođena antena (prevelik SWR, vidi poglavlje 19) može biti za tranzistor jednako opasna.

Pojačalo za telegrafiju i FM u klasi C, za 12 W na 145 MHz

Veću snagu FM signala, za rad u dvometarskom amaterskom opsegu, može se postići dodavanjem daljnjih stupnjeva za pojačanje snage.

Na shemi, sl. 12-22, nacrtanoj prema podacima tvornice »RCA«, prikazan je sklop od tri tranzistora koji može dati izlaznu snagu od najmanje 12 W. Takvo snažno pojačalo treba za svoj pogon samo 13,8 V napona uz struju blizu 2 A. To se može postići i priključkom na normalan automobilski akumulator. »RCA« preporučuje upotrebu tranzistora svoje proizvodnje: za TR_1 tranzistor 2N3553 ili 40280, za TR_2 2N3375 ili 40281, a za TR_3 tranzistor 2N3832 ili 40282. Razumije se da jednako tako mogu biti ugrađeni i odgovarajući tranzistori drugih tvornica.

Za pobudu je potrebno preko 200 mV snage. Zavojnice treba namotati ovako:

$L_1 = 2$ zavoja na promjeru od 5 mm, žicom $\varnothing = 1$ mm;

$L_2 = L_5 = L_8 =$ UKV prigušnica za 145 MHz, mala ($Z = 450\Omega$);

$L_3 = L_6 = 2$ zavoja na promjeru 5 mm, žicom $\varnothing = 1$ mm;

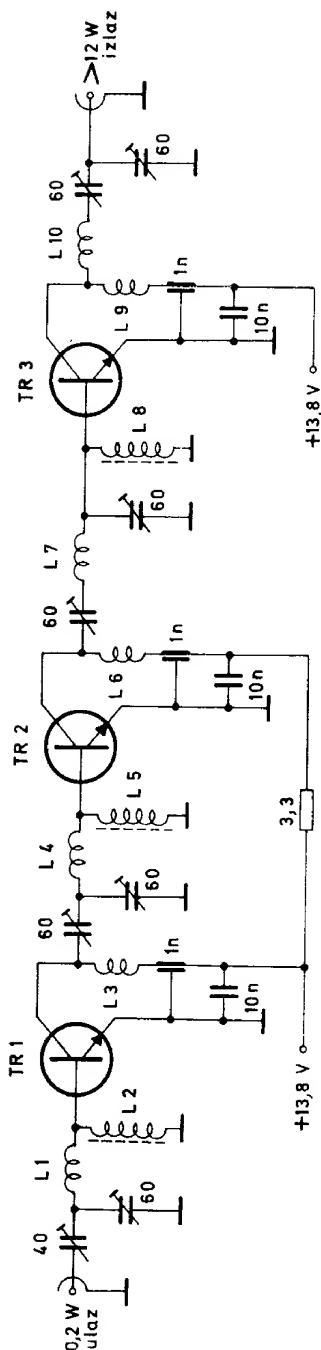
$L_4 = 3$ zavoja na promjeru 5 mm, žicom $\varnothing = 1$ mm;

L_7 = kao L_4 , ali na promjeru 6 mm;

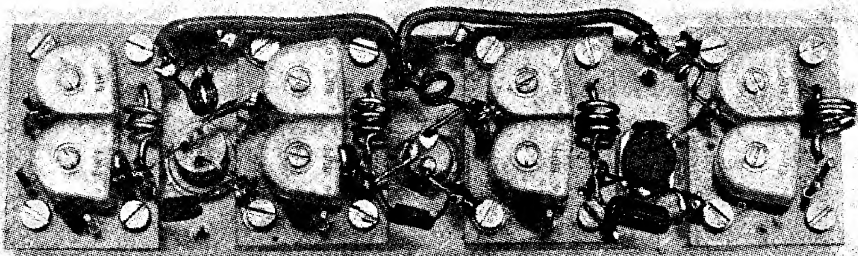
$L_9 = 2$ zavoja na promjeru 4,5 mm, žicom $\varnothing = 1$ mm;

$L_{10} = 2$ zavoja na promjeru 6 mm, žicom $\varnothing = 1$ do 1,5 mm.

Označeni promjeri su unutrašnji. Žica za L_3 i L_6 može biti lakirana, a za ostale zavojnice neka



Sl. 12-22. Shema VF pojačala snage za FM i telegrafiju, s tri tranzistora (prema podacima tvornice »RCA«)



Sl. 12-23. Izgled dvometarskog pojačala VF snage, sagrađenog prema sl. 12-22 (YU2CO)

bude posrebrena. UKV prigušnice mogu biti načinjene od po 45 cm žice 0,3 mm, CuL, namotane na cjevčice promjera 3 mm (s kojima se inače piju različiti sokovi, HI), ali se mogu staviti i feritne široko-pojasne UKV prigušnice.

Pojačalo prema sl. 12-22, onako kako ga je sagradio YU2CO, vidimo na sl. 12-23. Zavojnice i trimerski kondenzatori za ugađanje montirani su na četiri male štampane pločice, dok su tranzistori TR_2 i TR_3 vijcima pritegnuti na 6 mm debelu aluminijsku ploču koja služi kao montažna podloga i kao hladilo. Tranzistor TR_1 je stavljen u specijalnu kapicu za hlađenje, koja je izolirano učvršćena na istu ploču. Tko takve kapice nema, može na TR_1 nataknuti poznatu zvijezdu za hlađenje, dakako uz povećanje prostora za smještaj tog tranzistora. Ipak taj prostor ne smije biti preširok da vodovi ne bi postali predugački.

Takav predajnik treba *pažljivo ugoditi*. Taj se posao *ne smije izvršiti* sa priključenom antenom! Na izlazne priključnice treba spojiti *neinduktivno opterećenje* (npr. lažnu antenu, prema sl. 21-69) sa 50 do 60 Ω , koja mora izdržati očekivanu izlaznu snagu. Na ulaz se mora dovesti potrebna pobudna snaga, najbolje iz manjeg predajnika. *Bez*

dovoljne pobude nema izgleda na uspjeh. Previše također ne valja!

Ispred svakog stupnja je par trimerskih kondenzatora. Omjer njihovih kapaciteta mora biti takav da se istovremeno osigura resonancija na dvometarsku dužinu vala (uz pomoć »dipera«, GDM) i optimalna pobuda. Možda ćemo si pri tome morati pomoći mijenjajući malo dužine zavojnica. Treba ugađati stupanj po stupanj. Kada i izlazne kapacitete trimera dovedemo u najpovoljniji međusobni odnos, postići ćemo i maksimum izlazne snage. Kod dobro ugođenog predajnika *efektivni VF napon*, mjeren pogodnim instrumentom na otporniku kojim je opterećen izlaz, mora doseći 20 do 25 V, što približno odgovara izlaznoj snazi do dvanaestak vata. Uz pogonski napon od 13,8 V izlazna snaga, ovisno o ugrađenim tranzistorima, može biti i nešto veća.

Dodatno VF pojačalo za povećanje izlazne snage

Profesionalni uređaji za FM-radio-veze često imaju mogućnost izbora izlazne snage, npr. između maksimalne snage (oko 10 W) i deset puta manje (oko 1 W). Općenito je potvrđeno iskustvo da se *povećanje snage* od 1 W na 10 W kod

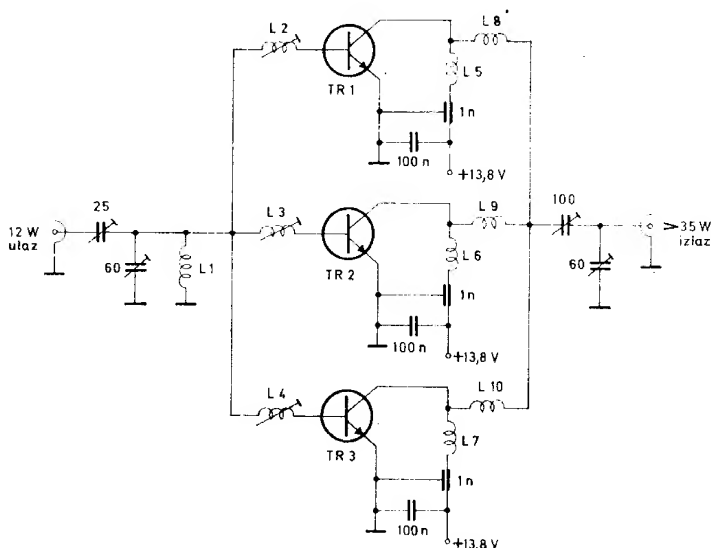
frekventno moduliranog signala uopće *ne može primijetiti*, ako je prijem već sa manjom snagom bio *bez šuma*. Glasnoća ostaje *bez ikakve promjene*. To je zato, jer se za primanje FM-signalu u prijemniku ograničuju amplitude. Ako je amplituda primanog signala već bila tolika da je postignuto ograničenje, ništa se bitno *ne može promijeniti* ako je signal jači.

Još veća snaga može biti korisna samo onda, ako je položaj osobito nezgodan. Ako nam je, npr. QTH okružen planinama, ako sa malom antenom kružne karakteristike zračenja moramo raditi iz velike zgrade sa betonskim zidovima ili ako se moramo boriti protiv drugih poteškoća sa sličnim učinkom.

Općenito treba upamtiti: da bi signal u prijemniku porastao *samo za jednu S-jedinicu*, snaga predajnika mora biti *četiri puta veća*! Za FM-sigale k tome vrijedi: ako je prijem već bez šuma, *ništa se ne mijenja povećanjem snage* predajnika!

Otuda slijedi zaključak da, u najvećem broju slučajeva, *nema smisla* graditi jače predajnike od opisanih! Samo bi *rizik da smeta* okolnim uređajima bio veći!

Shema na sl. 12-24 neka, dakle, posluži za gradnju dodatnog VF pojačala kojim se za *izuzetne prilike* može potrostručiti snaga predajnika. Ako već imamo predajnik koji u dvometarskom opsegu daje oko 12 W izlazne snage, možemo ga upotrebiti kao pobuđivač za ovaj stupanj koji će nam moći dati — ovisno o upotrebljenim tranzistorima, uz ispravnu gradnju — preko 35 W. Predviđena je upotreba triju tranzistora 2N3832 ili 40282 ili nekih drugih koji ovima odgovaraju. Gradnju ne preporučujemo onima koji još nisu stekli *obilno iskustvo* u radu s takvim tranzistorima u *manjim* predajnicima. Shema je nacrtana prema podacima tvornice »RCA« koja je dala i podatke za namatanje zavojnica. Za graditelje, koji već imaju dovoljno iskustva,



Sl. 12-24. Tri paralelno spojena tranzistorska pojačala snage za dvometarske valove (CW i FM), prema podacima tvornice »RCA«

to će biti ujedno najpotrebniji podaci:

L_1 = širokopojasna UKV prigušnica (1 μ H);

$L_2=L_3=L_4=3,5$ zavoja na promjeru 6 mm, žicom 1,2 mm, CuAg. Zavojnica je dugačka 9,5 mm, ima VF-Fe jezgricu za ugađanje;

$L_5=L_6=L_7=2$ zavoja na promjeru 3,5 mm, žicom 1 mm, CuAg. Zavoji razmaknuti za debljinu žice;

$L_8=L_9=L_{10}=2$ zavoja na promjeru 6,4 mm, žicom 1,8 mm, CuAg. Dužina zavojnice 6,5 mm.

Pri gradnji se mora sve dijelove, uključivši i tranzistore, tako razmjestiti da svi spojevi budu što kraći. Zavojnice u kolektorskim strujnim krugovima ne smiju svojim poljima djelovati na zavojnice ulaznih strujnih krugova. Na ulazu i na izlazu nalaze se po dva trimerska, promjenljiva kondenzatora. Oni moraju biti najbolje kvalitete i veoma stabilno građeni. Njihovi međusobni omjeri kapaciteta odlučuju o prilagođenju ulazne i izlazne impedancije, te istovremeno utječu na resonanciju svojih titrajnih krugova. Konstruktor je predvidio posebne ulazne i posebne izlazne zavojnice za svaki od tranzistora. Potrebno je da se induktivitetima zavojnica L_2 , L_3 i L_4 postigne resonancija. To se postiže jezgricama za ugađanje. One moraju biti načinjene od visokofrekventnog feromagnetičkog materijala koji odgovara za primjenu na frekvencijama u dvometarskom opsegu. Induktivitet ovih zavojnica treba jezgricama dovesti na takvu vrijednost da pobuda bude maksimalna. Tada će i kolektorska struja tranzistora biti najjača.

Istovremeno treba, koliko je moguće bolje, održavati i resonanciju izlaznih strujnih krugova. Na njihovu resonanciju utječe položaj izlaznog para kondenzatora i induktiviteti zavojnica, osobito L_8 , L_9 i L_{10} . Budući da svaka od njih mora što bolje resonirati na radnu frekvenciju s kapacitetom onog tranzisto-

ra s kojim je u vezi, mora se induktivitet svake od njih dovesti na najpovoljniju vrijednost. To je postignuto, kada je izlazna snaga, uz dovoljnu pobudu, maksimalna.

Pogonski napon od 13,8 V, uz pobudu sa 12 W, dovoljan je da se postigne izlazna snaga između 35 i blizu 40 W, ovisno o upotrebljenim tranzistorima. *Ugađanje se mora izvršiti bez antene, sa odgovarajućim neinduktivnim opterećenjem izlaza.* Redovita upotreba dopuštena je *samo onda*, ako se antena priključuje preko zaista pouzdanog filtera, uz što bolji odnos SWR. Inače bi od takvog pojačala snage bilo više štete nego koristi.

Na kraju treba naglasiti da pojačala ove vrste ne treba smatrati »linearnim« pojačalima. *Ona to nisu!* Osim za pojačanje snage FM-predajnika ona mogu poslužiti i za pojačanje dvometarskih telegrafskih (CW) emisija. *Za priključak iz AM-predajnika ili za SSB-signale ne odgovaraju!*

50 W s dva tranzistora na dva metra

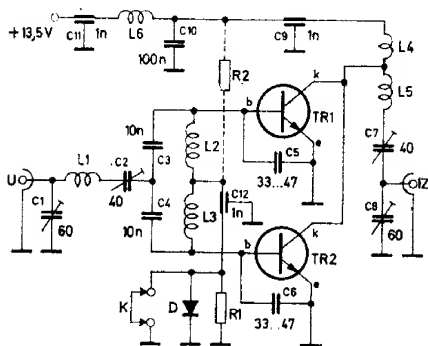
Problem gradnje linearnog pojačala s tranzistorima, koje bi moglo dati snagu oko 50 W, može se rješavati na nekoliko različitih načina. Jedan od načina je, ukoliko možemo nabaviti tranzistor BLY 90 ili BLY 94, da takvo linearno pojačalo pokušamo načiniti s jednim od njih. Pri tom tranzistor BLY 90 može dati tu izlaznu snagu uz napajanje sa 12,5, dok se sa BLY 94 to postiže uz napon od 28 V. Prvi od njih ima pojačanje snage samo 4 dB, što znači da mu je potrebna pobuda od 20 W. To je mnogo. Tranzistor BLY 94 ima pojačanje 7 dB. Potrebna pobuda bi bila upola manja, samo 10 W.

Bolja bi se linearnost mogla očekivati od tranzistora koji radi sa višim pogonskim naponom. Mogli bismo, dakle, upotrebiti BLY 94 uz 28 V u pojačalu snage koje bi

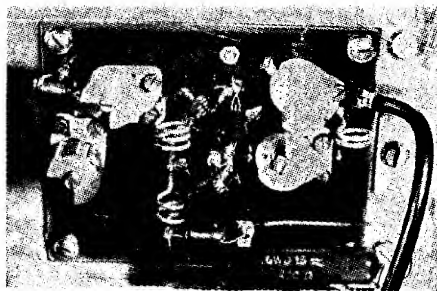
u principu bilo kao ono na sl. 12-13. Mi nismo imali takvog tranzistora »pri ruci« pa smo pošli drugim putem.

Taj »drugi put« je *paralelno spajanje dvaju slabijih tranzistora*, prema sl. 12-25. Shema vrijedi, ukoliko želimo ostati kod napajanja sa 13,5 V, za dva tranzistora, kao što su, recimo, BLY 89A. Jedan takav daje izlaznu snagu 25 W uz pobudu sa 6 W. Dva takva bi trebala sa pobudom od 12 W dati izlaznu snagu 50 W. Izbor bi možda mogao pasti i na tranzistore 2N5591 koji također, uz 13,5 V, daju 25 W izlazne snage, ali trebaju veću pobudu (oko 8 W).

Ako se možemo odlučiti za veći pogonski napon, došli bi u obzir i tranzistori kao što je BLY 93. Njemu je potrebno 28 V da, uz pobudu od samo 3 W, daje najmanje 25 W izlazne snage u dvometarskom amaterskom opsegu. Takva dva smo mogli »naći« i zato je 50-vatni izlazni linearni stupanj, sl. 12-26, bio načinjen s njima.



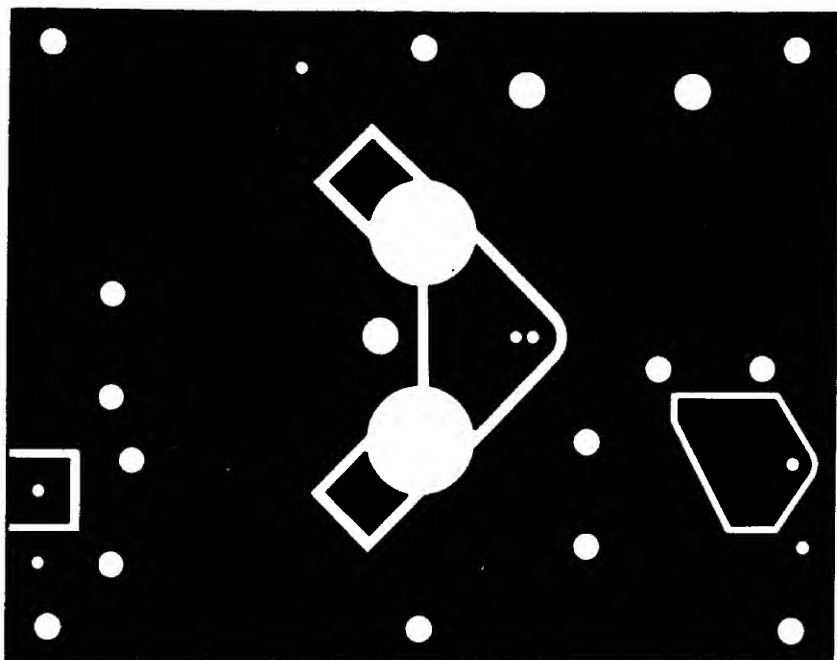
Sl. 12-25. Dva paralelno spojena tranzistora za postizanje veće snage u linearnom pojačalu za sve vrste dvometarskih signala. Napon za napajanje može biti 13,5 V, ali također 25 do 28 V ukoliko su upotrebljeni tranzistori kojima treba takav napon. Otpornik R_2 odabire se prema potrebnoj mirnoj struji tranzistora. Vidi tekst



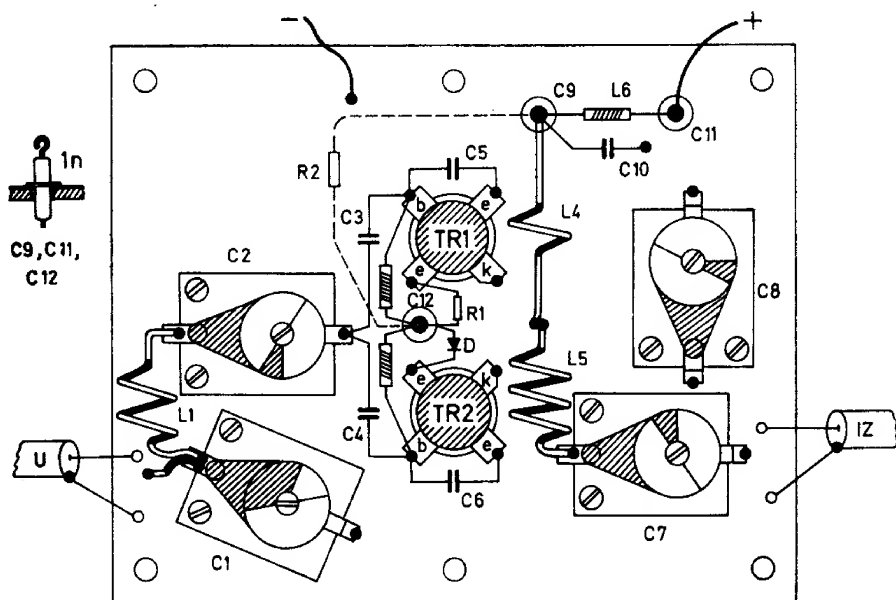
Sl. 12-26. Prototip pojačala snage, sagrađen prema shemi na sl. 12-25

Uz pretpostavku da će se napajanje električnom energijom dobiti iz stabiliziranog ispravljača, može razdjelnik R_1/R_2 (sl. 12-25) za postizavanje potrebnog prednapona na bazama tranzistora TR_1 i TR_2 spojiti na puni napon. R_1 može imati oko 27 Ω , a R_2 toliko da se postigne mirna kolektorska struja od kojih 100 mA za oba tranzistora. Ona neće biti sasvim jednaka za jedan i drugi tranzistor. Kolektorska struja jednoga će se ponešto razlikovati od kolektorske struje drugoga. Za sam rad paralelno spojenih tranzistora to nema drugog značenja osim činjenice da će jedan (onaj koji ima veće strujno pojačanje) biti jače opterećen. Zato je najbolje ako ta razlika nije veća od 15 do 20%.

Pločica od vitroplasta, veličine 100×80 mm, koja ima bakreni sloj samo sa jedne strane, kad je pripremljena, ima izgled kao na sl. 12-27. Sastavne dijelove smo montirali na onu stranu pločice koja nema bakra. Raspored dijelova je prikazan na sl. 12-28. Zavojnice su bile načinjene iz posrebrne bakrene žice, debele 1,5 mm, namotane preko spiralnog svrdla (burgije) promjera 8 mm. Broj zavoja, oblik i smještaj zavojnica je vidljiv na slici. Kondenzatori, C_9 , C_{11} i C_{12} su tzv. provodni kondenzatori. Oni su sa stražnje strane zalemljeni na bakar i služe kao kontakti podupirači za



Sl. 12-27. Štampana vitroplast-pločica za linearno pojačalo snage, na sl. 12-26. Format je 100×80 mm



Sl. 12-28. Raspored sastavnih dijelova na pločici, prema sl. 12-27. Lijevo, gore: provodni kondenzatori C_9 , C_{11} , u sredini: C_{12} . Komentar u tekstu

priključivanje ostalih dijelova koji su s njima u vezi.

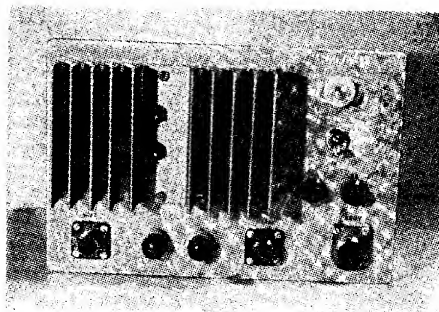
Važno je dobro hlađenje tranzistora. Zato smo ih montirali na masivno aluminijsko hladilo (sl. 12-29). Pločica sa dijelovima pojačala je na unutrašnjoj strani prednje ploče. S vanjske strane se vidi hladilo. Ispod njega su redom: ulazna koaksijalna priključnica, signalna žaruljica (sijalica) zelene boje koja svijetli kad je pojačalo u stanju pripravnosti (za vrijeme prijema), onda crvena signalna žaruljica koja svijetli za vrijeme dok je pojačalo uključeno (za vrijeme rada predajnika). Zatim slijedi izlazna koaksijalna priključnica i priključnica za izmjenični napon od 220 V. Iznad ovoga su dva osigurača. Jedan za primarnu stranu transformatora ugrađenog ispravljača i drugi za istosmjernu struju s kojom se napaja linearno UKV pojačalo. Povrh njih je prekidač i još jedna žaruljica žute boje koja signalizira da je ispravljač uključen.

Pogled pod šasiju tog uređaja (sl. 12-30) pokazuje dio ispravljača sa elektrolitskim kondenzatorom i dijelom elektroničkog stabilizatora napona. Tu se vide i dva oklopljena releja za koaksijalne vodove (lijevo dolje i u sredini). Lijevo gore nazire se »COR«, sklop za automatsko uključivanje linearnog pojačala (vidi kasnije opis i sl. 12-31). Lijevo od elektrolitskog kondenzatora (u desnoj trećini slike) vide se zavojnice. One pripadaju izlaznom visokofrekventnom filteru bez kojega se takvo pojačalo ne bi nikad smjelo priključivati na antenu.

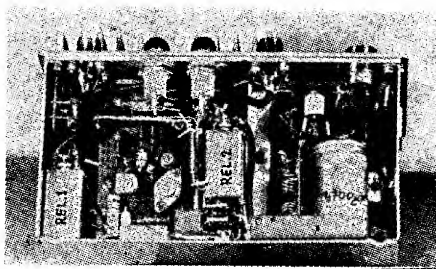
Ugađanje pojačala je najbolje započeti bez istosmjernog napajanja (!) sa reduciranom pobudom. Na izlaz treba priključiti neinduktivno opterećenje od 50 Ω , možda preko nekog SWR-metra, i pažljivim okretanjem kondenzatora C_1 i C_2 , kao i C_7 i C_8 , nastojati da se dobije maksimalna izlazna snaga. Ona je u početku, dok nema pogonskog napona, vrlo malena. Dobro je da je i predajnik koji daje po-

budu sa »linearcem« spojen također preko još jednog SWR-metra, jer ulazno ugađanje linearnog pojačala mora biti izvršeno na takav način da pobuda bude maksimalna, ali uz što bolji odnos stojnih valova između oba uređaja. SWR mora biti što manji, što bliži vrijednosti 1 : 1.

Kad smo tako izvršili prethodno ugađanje, možemo uključiti napon za napajanje tranzistora, najprije upola niži od onoga s kojim ćemo kasnije raditi. Ponovno pažljivo ugađanje na maksimum, pazeci i na ulazni SWR (!), približit će nas cilju. Kad to ponovimo sa sve većim naponom (ne predugo, da se tranzistori ne pregriju!), doći ćemo konačno do toga da sasvim malo popravimo ugađanje i SWR na ulazu, kao i resonanciju i pri-



Sl. 12-29. Pogled na prednju ploču uređaja u kojemu je ugrađeno linearno pojačalo snage (sl. 12-26) za jedno sa ispravljačem



Sl. 12-30. Pogled pod šasiju uređaja, sl. 12-29. Opis u tekstu

lagodeenje na izlazu. Maksimalna snaga koju smo mi tako postigli bila je blizu 52 W, uz napon od 26 V iz stabiliziranog ispravljača. Pobuda je pri tom bila iz UKV predajnika koji je na svom izlazu imao tranzistor 2N3632. Zagrijavanje tranzistora i aluminijskog hladila je bilo vrlo umjereno. Temperatura im je bila podjednaka i, na opip, su bili »ugodno topli« i nakon nekoliko minuta rada (koliko otpri-like traje jedna »relacija«).

Zagrijavanje tranzistora je najveće kod rada sa frekventno moduliranim signalom koji jednoliko i maksimalno opterećuje tranzistore. Kod telegrafije, gdje postoje prekidi pri kucanju, zagrijavanje je manje. Još manje je zagrijavanje kod emisije SSB-signala. Kod njih *samo vršna snaga (PEP) doseže punih 50 W. U prosjeku, a to je jedino što nam pokazuju obični mjerni instrumenti s kazaljkom, snaga mora biti niža. Ona, u pravilu, treba da ima oko 10 do 13 W. Prema tome treba, ako signal ne možemo kontrolirati osciloskopom, prilagoditi i pobudu. Nešto veća prosječna snaga moći će se, kod SSB-signala, postići ako za modulaciju primijenimo ograničenje amplituda niskofrekventnih napona prije modulacije. Ali i onda moramo biti sigurni da nam je signal na svim prijemnicima okolnih radio-amatera (i »u lokalnu«) ostao »uzak«, bez izobličenja i smetnji neposredno uz našu radnu frekvenciju, kao i podalje od nje. Također ne smije biti nikakvih smetnji ni u susjednim radio-aparatima, ni u televizorima.*

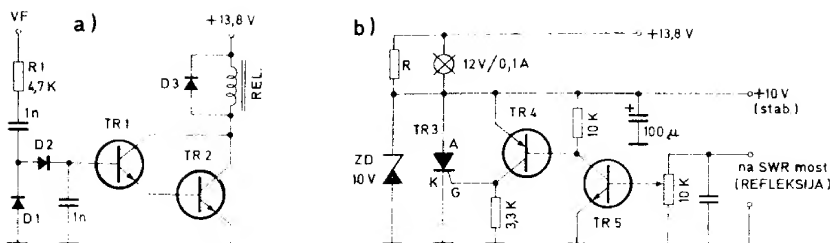
Korisni pomoćni uređaji uz tranzistorska pojačala VF snage

U svakoj radio-stanici treba osigurati nesmetan rad i prijemnom i predajnom dijelu aparature. Iako se za prelaz od primanja na emisiju upotrebljavaju releji, može ipak iz predajnika na ulaz prijem-

nika doći toliko visokofrekventne snage da ulazni tranzistor bude oštećen. Da se to ne bi događalo moraju kapaciteti, između kontakata koji su uključeni u izlazne strujne krugove predajnika i kontakata koji su u vezi sa ulaznim krugovima prijemnika, biti što manji. Ovi kapaciteti ipak postoje. Što je viša radna frekvencija to će spomenuta opasnost biti veća. U poglavlju o UKV prijemnicima nacrtane su na mnogim shemama, obično uz antensku zavojnicu, po dvije »antiparalelno« spojene diode kojima se ova opasnost može smanjiti. Ulazni tranzistor je zaštićen i uz snagu predajnika od nekoliko desetaka vata. Međutim, što je izlazna snaga veća, to su i same zaštitne diode ugroženije. Uz dugotrajnije djelovanje jače visokofrekventne struje, diode se mogu zagrijavati, pa i »pregorjeti«. Tada, dakako, ni ulazni tranzistor ne bi bio više zaštićen!

Da se ovakve pojave izbjegnu, dobro je da se izlazna visokofrekventna pojačala veće snage uključuju istovremeno kada se isključuje prijemnik. U tu svrhu može se pogodni relej uključiti ručnim prekidačem ili posebnim tipkalom (»PTT«, od engl. »push to talk«) na mikrofону ali također pomoću posebnog sklopa koji se često označuje kao »COR« (od engl. »Carrier operated relais«). Takav sklop neki pogrešno nazivaju »visokofrekventni VOX« (»VOX« dolazi od engl. »Voice operated...« i djeluje pod utjecajem niskih frekvencija).

»COR-sklop« može biti načinjen na više načina. Jedan takav je na sl. 12-31a. Prikjučnica VF u vezi je sa nekom tačkom u predajniku, gdje je dovoljan visokofrekventni potencijal. To je kod slabijih predajnika na izlazu, a kod jačih predajnika na njihovim ulaznim titrajnim krugovima. Otpornik R_1 treba tako odabrati da se predajnik znatnije ne optereti, a da ipak diode D_1 i D_2 ispravljanjem VF struje proizvedu dovoljno visok napon na kondenzatoru od 1 nF. Otuda poteče



Sl. 12-31. Korisni dodatni uređaji: a) za uključivanje pojačala snage visokom frekvencijom (»COR«); b) elektroničko osiguranje predajnika kod pojave lošeg odnosa stojnih valova (SWR). Vidi tekst

struja baze u tranzistor TR_1 . Ovaj, zajedno sa TR_2 , formira tzv. Darlingtonov par u kojemu je ukupno strujno pojačanje jednako umnošku strujnih pojačanja upotrebljenih tranzistora. Kroz relej REL poteći će, čim se pojavi val nosilac predajnika, tako jaka električna struja, da relej odmah isključi prijemnik i antenu preklopča sa prijemnikova ulaza na izlaz predajnika. Paralelno sa zavojnicom releja je dioda D_s . Kod prekida kolektorske struje mogle bi se, zbog samoindukcije, pojaviti veliki naponi od kojih bi lako stradali tranzistori Darlingtonovog para. Polaritet ove diode je odabran tako da ona ne propušta struju koja treba da teče kroz REL .

Ovisno o jakosti struje koju treba relej, TR_1 i TR_2 mogu biti bilo kakvi silicijevi tranzistori sa većim strujnim pojačanjem (dva BC107). U slučaju potrebe, može TR_2 biti takav da podnosi jače struje (BC140 ili sličan).

Već smo naglasili da odnos stojnih valova na antenskom kabeu mora biti što bolji; SWR mora biti što bliži jedinici. Tada u kabeu postoje najmanji gubici i omogućen je najekonomičniji prenos snage iz predajnika na antenu. I predajnik je pravilno opterećen. Uz veći SWR je teško ugoditi izlazni stupanj predajnika za optimalan rad. Ako bi se iz bilo kojeg razloga, za vrijeme rada predajnika, SWR povećao (npr. da se pokida antena ili, što je češće moguće, da negdje pukne antenski

kabel, recimo, pri okretanju antene) moglo bi opterećenje predajnika postati preslabo. Tada bi se na kolektoru tranzistora mogle pojaviti tako visoke vršne vrijednosti VF napona koje on ne može podnijeti. Mnogi su tranzistori na taj način bili probijeni i postali neupotrebljivima. Da se izlazni tranzistor (ili tranzistori, ako ih je više) u izlaznom stupnju predajnika zaštite od takvog uništenja može služiti sklop elektroničkog osigurača koji je shematski prikazan na sl. 12-31b.

Otpornik R , spojen paralelno sa žaruljicom (sijalicom) od 12 V/0,1 A, zajedno s njom, ograničuje jakost struje koja teče kroz Zenerovu diodu ZD . Ona neka bude za nominalno opterećenje do 10 W i za napon od 10 V. Tako se, na uobičajeni način, postiže stabilizirani napon od 10 V za oscilator predajnika. Paralelno Zenerovoj diodi je spojen tiristor TR_3 koji, normalno, ne propušta struju i ne smeta stabilizaciji napona.

Na SWR-mostu (vidi u poglavlju 21) koji je ugrađen u predajnik, javljaju se redovito dva napona. Jedan je, uz dobro prilagođen antenski vod i ugođenu antenu, to veći što je izlazna snaga koja odlazi u antenu veća. Taj napon se može iskoristiti da na mjernom instrumentu (koji kod prijema služi kao S-metar) za vrijeme emisije kontroliramo rad predajnika. Drugi napon koji se javlja na SWR-mostu jednak je nuli ako je sve optimalno ugođeno. On

postaje veći ako se uslijed nepoželjnih refleksija (zbog neprilagođenja) pojave stojni valovi na antenskom vodu.

Ako je, dakle, »sve u redu«, tj. ako je SWR-odnos blizu jedinici, napon koji se sa SWR-mosta dovodi tranzistoru TR_1 premalen je da bi mogla poteći znatnija kolektorska struja. Ako, međutim, uslijed neočekivane pojave refleksije (npr. zbog kvara na anteni ili na antenskom kabelu) do baze tranzistora TR_1 stigne napon koji je dovoljno velik, poteče struja i TR_1 svojom kolektorskom strujom aktivira i TR_2 . Njegova kolektorska struja na otporniku od 3,3 k Ω daje tako velik pad napona da se preko elektrode G (»gate«, gejt, vrata) aktivira i TR_3 .

TR_3 je, kako smo rekli, *tiristor*. To je poluvodički proizvod koji je samo donekle sličan tranzistoru. Od tranzistora se razlikuje po tome, što tiristor — kad jedanput provede električnu struju — trajno zadržava tu sposobnost, čak i onda ako preko G-elektrode više ne teče nikakva struja. U tom stanju pad napona na tiristoru (između njegove anode i katode) iznosi manje od 1 V, pa on »kratkot spoji« Zenerovu diodu ZD. Zaruljica (12 V/0,1 A) zasvijetli punim sjajem upozoravajući da se nešto dogodilo u antenskom kabelu ili na anteni. Istovremeno je i predajnik sasvim isključen. Oscilatorov pogonski napon je, naime, pri tome pao na tako malu vrijednost da oscilator prestane raditi. Nijedan stupanj predajnika nema više pobude i kolektorske struje tranzistora se smanje ili padnu na nulu.

Predajnik ne može raditi dokle god ne uklonimo uzrok isključivanja pogonskog napona za oscilator. Kada opet postignemo da SWR bude normalan, treba najprije isključiti napon kojim se napaja stabilizacijski sklop. Tiristor TR_3 se pri tome sam vrati u prvobitno stanje. Iza ponovnog uključivanja, Zenerova dioda će raditi normalno pa će i oscilator ponovno dobiti potrebam

pogonski napon. Predajnik će opet normalno raditi.

U žurbi, možemo zaboraviti da na tranzistorski predajnik priključimo antenu. Ako ga uključimo, može stradati koji od tranzistora, što je već mnogo puta potvrdilo neugodno (i skupno!) iskustvo. Ugradnja takvog osigurača se i tada isplati jer *predajnik jednostavno nije moguće uključiti bez antene*. Razumije se da potencijometar od 10 k Ω treba namjestiti tako da čitav sklop ima dovoljnu osjetljivost. On ne smije okinuti ako je sve u redu.

ODAŠILJAČKI UREĐAJI ZA 432 MHz

Eksperimentalni utrostručivač frekvencije

Iz dvometarskog opsega amaterskih frekvencija može se u 70-centimetarski opseg doći na razmjerno jednostavan način. Frekvenciju treba utrostručiti: $144 \text{ MHz} \times 3 = 432 \text{ MHz}$!

Najjednostavniji su umnoživači frekvencije sa specijalnim diodama, tzv. »varaktorima«.

Varaktori su diode kojima se mijenja kapacitet, upravo kao i kod varikap-dioda. Jedina je razlika u tome da varaktori služe isključivo za umnažanje frekvencije i podnose velika opterećenja, dok su varikap-diode u prvom redu namijenjene da rade kao promjenljivi kapacitet za ugađanje titrajnih krugova, automatsku korekciju frekvencije i slične primjene uz mala opterećenja.

Utrostručivač frekvencije može se sagraditi i pomoću varikap-diode, ako se zadovoljimo s malim snagama koje takva dioda može podnesti. Eksperimenti s takvim utrostručivačem vrlo su zanimljivi i mogu biti korisni jer omogućuju konstrukciju jednostavnog uređaja za prelaz na frekvencije oko 432 MHz.

Shemu i raspored dijelova utrostručivača frekvencije, prema

DL9JU, prikazuje sl. 12-32. Na ulazu je zavojnica L_1 (7 zavoja, žica 1,2 mm, CuAg, unutarnji promjer 8 mm, dugačka 15 mm). Na njenom drugom zavoju je odvojak koji je spojen sa ulaznom koaksijalnom priključnicom. Promjenljivi kondenzator C_1 dovodi ulazni titrajni krug u resonanciju. Dioda D je »varikap«. Ona leži u primarnom titrajnom krugu. Paralelno s diodom je otpornik od 100 k Ω pa na njemu nastaje pad napona uslijed ispravljačkog djelovanja diode. Ovaj napon služi kao prednapon za diodu i određuje njenu radnu tačku, ovisno o jakosti ulaznog signala.

Istovremeno dioda D leži u izlaznim strujnim krugovima. Serijski titrajni krug L_2C_2 mora resonirati na dvostruku frekvenciju (288 MHz). Ova resonancija je važna zbog toga

jer se u diodi miješaju ulazna i dvostruka frekvencija. Rezultat miješanja je pojačana trostruka frekvencija ($144 + 288 = 432$ MHz). Na ovu resonira izlazni titrajni krug, L_3C_3 .

Zavojnica L_2 ima 4 zavoja (žica 1,2 mm, CuAg, unutrašnji promjer 6 mm, dužina 10 mm). Zavojnica L_3 ima samo 3 zavoja (žica 1,5 mm, CuAg, unutrašnji promjer 5 mm, dužina zavojnice 10 mm i odvojak iza prvog zavoja. Na taj odvojak je spojena izlazna koaksijalna priključnica.

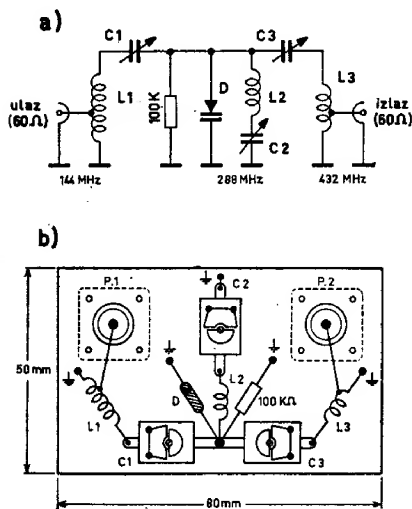
Za rad telegrafijom može se na ulaz ovakvog utrostručivača frekvencije dovesti signal kojemu je snaga najviše do 1 W. Pri tome diode, kao što su BA 110, BA 121 i nji-ma slični varikap, neće biti preterećeni jer se oko 40% uložene snage (144 MHz) pojavljuje na izlazu (432 MHz).

Za rad telefonijom može se na ulaz utrostručivača dovesti gotov, frekventno moduliran dvometarski signal. Dobiveni 70-centimetarski signal ostaje frekventno moduliran uz povećanu devijaciju. Od 300 mW na 144 MHz dobio se signal frekvencije 432 MHz od 120 mW. Uz modulaciju sa 1000 Hz i izobličenje od 5% (u dvometarskom signalu) ostala je (poslije utrostručanja frekvencije vala nosioca) modulacijska frekvencija nepromijenjena uz izobličenje koje je bilo neznatno povećano (u 70-centimetarskom signalu).

Druga iskustva, sakupljena za vrijeme kontesta, uz QTH na vrhu brijega, govore o dometima, ovako postignutih 70-centimetarskih signala, koji su iznosili preko 150 km. O tome bi se trebalo uvjeriti, zar ne? Pokušajmo!

Varaktorski ustrostručivač frekvencije

Ako postoji potreba za umnažanjem frekvencije uz što bolje iskorištenje raspoložive snage, onda treba posegnuti za specijalnim dioda-



Sl. 12-32. Umnoživač frekvencije za 144/432 MHz pomoću varikap diode, prema DL9JU: a) shema; b) raspored dijelova na pločici veličine 80×50 mm. To može biti pločica iz bakrenog ili mjedenog (mesingnog) lima, debelog 1 mm, po mogućnosti posrebrene. Također može biti sagrađen na pločici, kaširanoj tankim bakrenim slojem, kao za štampane vodove

ma, poznatim pod imenom *varaktori*.

Ovdje želimo prikazati samo jedan primjer, razmjerno jednostavnog varaktorskog utrostručivača frekvencije za veću snagu.

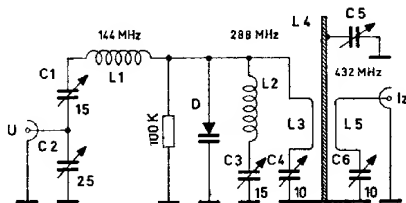
Dioda *D* (sl. 12-33) je varaktor. Vrlo dobre rezultate daje BAY 66 (*»Philips«*) podnoseći INPUT do 20 W. Varaktori BAY 96 mogu se, pri utrostručivanju 144/432 MHz, opteretiti sa 50 W dajući OUTPUT od 35 W! Sve ove snažne diode imaju vanjski izgled kao i poznate silicijeve ispravljačke diode u metalnim kućištima. One se mogu na jednak način, u svrhu boljeg hlađenja, jednostavno prišarafiti na limenu šasijsu.

Promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 pripadaju ulaznom djelatitelju visokofrekventnog napona. Pomoću njih se utrostručivač može prilagoditi predajniku iz kojega se napaja. Istovremeno je omogućeno i ugađanje ulaza na 144 MHz, u zajednici sa zavojnicom L_1 . Varaktorska dioda ispravlja te oscilacije pa se na otporniku od 100 k Ω stvara pad napona koji služi kao neka vrsta radnog prednapona za samu diodu. U ispravljenoj struji ima, osim osnovne frekvencije, snažna komponenta dvostruke i slabija komponenta trostruke frekvencije. Na dvostruku frekvenciju (288 MHz) resonira serijski titrajni krug L_2C_3 . Resonancijom pojačane visokofrekventne struje frekvencije 288 MHz *miješaju se* u istoj varaktorskoj diodi sa ulaznom frekvencijom. Kao rezultat toga miješanja dobiju se vrlo snažni titraji *trostruke* frekvencije ($144 + 288 = 432$).

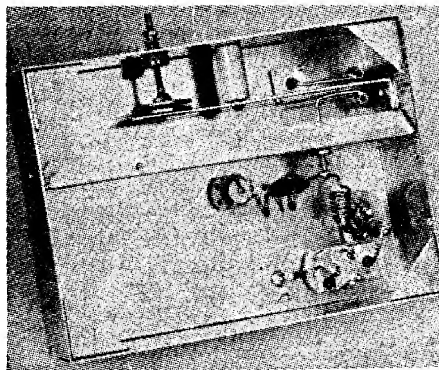
Titraji trostruke frekvencije odvođe se najprije na L_5 i C_6 a odavde, preko induktivne veze L_5-L_4 , na četvrtvalni resonator L_4C_5 . Iz ovog resonatora je onda moguće odvesti dobiveni signal (432 MHz) na antensku koaksijalnu priključnicu. Tome služi petlja od žice L_5 i, za tačnije ugađanje, kondenzator C_6 .

Izgled takvog utrostručivača frekvencije vidimo na sl. 12-34. Tu

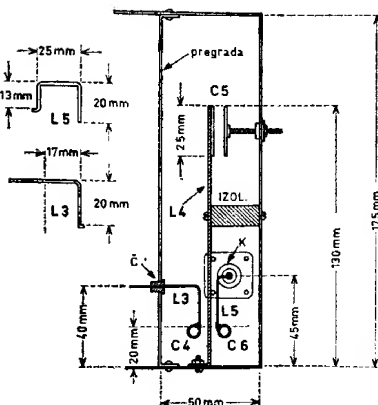
je prikazana unutrašnjost šasijske, pregrađene u dva dijela. U gornjem dijelu je smješten četvrtvalni resonator za 432 MHz, a u donjem dijelu (na slici) je sve ostalo. Uz ulaznu koaksijalnu priključnicu vide se, u uglu desno dolje, promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 . Prema varaktoru je usmjerena zavojnica L_1 . Od varaktora prema kondenzatoru C_3 usmjerena je zavojnica L_2 . Ona je okomita na L_1 . Sam varaktor je učvršćen na šasiju a od nje, kroz keramički provodni čep



Sl. 12-33. Shema varaktorskog utrostručivača frekvencije 144/432 MHz. *D*=specijalna dioda za utrostručivanje frekvencije, tzv. varaktor. $C_1=15$ pF; $C_2=15$ pF; $C_3=C_4$ = »televizijski« keramički trimmer od 10 pF; C_5 =kapacitet, opisan u tekstu; $L_1=6$ zavoja, žica 1,2 mm, CuAg, na promjeru 5 mm, dužina 13 mm; $L_2=3$ zavoja, žica 2 mm, CuAg, na promjeru 5 mm, dužina 19 mm. Ostalo vidi tekst



Sl. 12-34. Pogled pod šasiju varaktorskog utrostručivača frekvencije



Sl. 12-35. Skica za izradu četvrtvalnog resonatora za 432 MHz

č, stavljen u pregradu, prolazi petlja L_s . Njezin položaj kao i samu konstrukciju resonatora za 432 MHz bolje ćemo uočiti ako sl. 12-35 uporedimo sa sl. 12-34.

Na sl. 12-35 je skica pregrade kojom je četvrtvalni resonator ispod šasijske odijeljen od preostalog dijela umnoživača frekvencije. Sama šasija ima dimenzije $12,5 \times 17,5 \times 5$ cm. Šupljina dobivena postavljanjem pregrade dugačka je 17,5 cm dok joj je presjek 5×5 cm. U sredini je učvršćena bakrena, ili posrebrjena mjedena traka L_4 , dugačka 130 mm, široka 13 mm, debela 1 mm, koja je s jedne strane presačijena tako da se dobije 12 mm široka ploha. Pomoću nje se traka učvrsti s dva vijka i onda još zalemi na bočnu stijenku šasijske. Na drugom kraju traka nosi mjedenu pločicu promjera 25 mm. Jednaka pločica mora biti ovoj nasuprot, montirana na vijku tako da se udaljenost među njima može mijenjati.

Ove dvije pločice predstavljaju promjenljivi kapacitet C_s . Da se traka L_4 ne tresne, fiksirana je pomoću stupčića IZOL. Ovaj može biti načinjen iz polistirola, plexiglasa, teflona ili keramike. Visok je 24,5 mm.

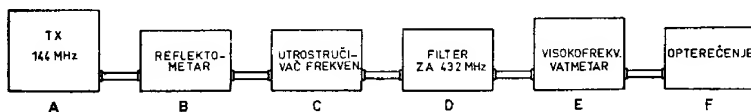
Kroz čep C , načinjen također od kvalitetnog izolacionog materijala, prolazi petlja L_s , načinjena od 1,5 mm debele bakrene, po mogućnosti posrebrene žice. Drugi kraj petlje L_s zalemljen je izravno na statorski oblog trimera C_4 . Udaljenost između L_s i L_4 treba odrediti pokusom, ali bit će oko 5 do 6 mm.

S druge strane trake L_4 dolazi petlja L_s . Ona je jednim svojim krajem zalemljena na srednji kontakt koaksijalne antenske priključnice K , a drugim krajem na statorski oblog trimera C_6 . Udaljenost između L_s i L_4 također treba odrediti pokusom. Ona će redovito biti 3 do 5 mm.

Oblik i veličina petlji L_s i L_4 također su prikazani na sl. 12-35 sa strane, lijevo.

Za ugađanje varaktorskog utrostručivača treba raspolagati odgovarajućim priborom. Ispitivanje uređaja koji rade na tako visokim frekvencijama kao što su 432 MHz zato nije lako. Oni koji su okušali svoje sposobnosti na tim frekvencijama lako će se složiti u tome da su za pripremanje uređaja pomoću kojih su mogli pouzdano ispitati sagrađeni predajnik potrošili daleko najveći dio vremena i sredstava.

Na sl. 12-36 vidimo pregled pribora kojim bi se moglo izvršiti takvo ispitivanje. Kao prva i jedna od najvažnijih stvari je čist omski otpor od 50 ili 60 Ω za lažnu antenu koja mora biti slobodna od reaktivnih komponenata i na tako visokoj frekvenciji. Većina lažnih ante-



Sl. 12-36. Pregled pribora koji je potreban za ispitivanje varaktorskih utrostručivača frekvencije 144/432 MHz. Vidi tekst

na (»dummy load«, umjetna ili vještačka antena) koja se u različitim zemljama nudi na prodaju, obično ne vrijedi za 432 MHz. Tu si moramo pomoći na drugi način.

Jednu od mogućnosti da ostvarimo dobru lažnu antenu pruža onaj isti koaksijalni kabel koji će nam kasnije služiti za vezu sa antenom. Uzet ćemo 30 m takvog kabela, na jednom kraju montirati koaksijalnu priključnicu, a na drugom kraju između srednjeg voda i vanjskog oklopa, spojiti *dvovatni*, neinduktivni otpornik takve vrijednosti koja odgovara priključnoj vrijednosti kabela. Za kabel tipa RG-58/U to je 50 Ω . Iako je na suprotnom kraju kabela otpornik kojemu je opterećenost samo 2 W, možemo u kabel bez brige »poslati« cijelu snagu koju daje utrostručivač ako ne prelazi 20 W. Gubici su i u *dobrom* kabelu ovolike dužine na toj frekvenciji tako veliki da se otpornik neće pregrijati! To možda iznenađuje, ali je tako! Ni do antene neće stizati više snage kroz ovu vrstu kabela!

Pogledajmo još jedanput sl. 12-36. A je dvometarski predajnik. Njegov izlazni signal preko reflektometra B odlazi na ulaz utrostručivača frekvencije C. Reflektometar B treba da je uključen između A i C da pomoću njega možemo utvrditi kada je varaktorski ulazni titrajni krug dobro ugođen. To će biti onda ako reflektometar pokaže najmanji mogući odnos stojnih valova, po mogućnosti što bliže vrijednosti 1:1. Tek tada treba ugađati ostale titrajne krugove. Prvo ugađanje treba izvršiti uz manju snagu dvometarskog signala. Kad je ugađanjem postignut maksimum na 432 MHz, može se ulazna snaga povećati i onda još malo popraviti cijelo ugađanje.

Kao visokofrekventni »vatmetar«, tačnije »indikator snage«, označen slovom E, dobro će poslužiti još jedan SWR-metar. Uz dobro, neinduktivno opterećenje, kad je sve dobro ugođeno, SWR metar pokazuje maksimum »prema napred«,

uz odnos stojnih valova, u idealnom slučaju, 1:1. To se na tim frekvencijama, u amaterski improviziranom ispitnom uređaju, teško postiže. Ipak, treba nastojati da SWR-odnos bude *što bliže jedinici*. Isključimo li filter D, SWR-odnos postaje obično veći. Taj porast potvrđuje da su u izlaznom signalu *prisutne još i druge frekvencije*, osim 432 MHz. U prvom redu prisutni su *ostaci dvometarskog signala*, zatim *više/harmoničke frekvencije*. Da ne bi bilo smetnja i da se emitiranim ostatkom ne smeta ni stanicama koje rade u dvometarskom opsegu, *uvijek* je potrebno iza utrostručivača frekvencije *upotrebiti što je moguće bolji filter*. Filtri su opisani u poglavlju 22. Jedan od njih će poslužiti opisanoj svrsi.

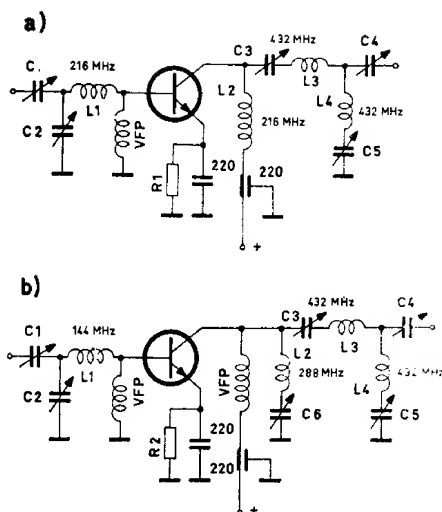
Telegrafski signal, ukoliko je bio u dvometarskom opsegu čist i bez »čirpova«, dobre stabilnosti, ostat će nepromijenjene kvalitete i poslije utrostručivanja, u 70-centimetarskom opsegu.

SSB-telefonija poslije utrostručivanja postaje nerazumljiva, ali *frekventno modulirani val* zadržava dobru kvalitetu modulacije. Frekventno moduliran signal postaje širi *jer mu se utrostruči i devijacija*. Da ne bi bila prevelika, treba je smanjiti već kod dvometarskog signala, prije nego li bude utrostručen. Zanimljivo je da se *amplitudno modulirani* signal može utrostručiti bez opasnosti za razumljivost. Izobličenja koja se pojavljuju za uho su nezamjetljiva.

Tranzistori kao umnoživači frekvencije na 432 MHz

Moderni, tzv. »overlay« tranzistori pogodni su za postizanje frekvencije od 432 MHz umnažanjem, tj. udvostručivanjem ili utrostručivanjem frekvencije. Najbolje djelovanje omogućuju sklopovi prema sl. 12-37.

Promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 djeluju kao kapacitivni djelitelj



Sl. 12-37. Tranzistorski umnoživači frekvencije za UKV: a) udvostručivač za 216/432 MHz; b) utrostručivač za 144/432 MHz

ulaznog visokofrekventnog napona (sl. 12-37a). Zavojnica L_1 , na ulazu, mora resonirati na frekvenciju koju želimo udvostručiti (216 MHz). Na izlazu su tri zavojnice: L_2 koja resonira na 216 MHz, L_3 i L_4 koje resoniraju na 432 MHz. Promjenljivi kondenzatori C_3 i C_5 služe za postizavanje resonancije a C_4 za vezu sa antenom.

Na sl. 12-37b je sličan utrostručivač frekvencije. Na ulaz sklopa dovodi se signal frekvencije 144 MHz. Tu je opet kapacitivni djelitelj napona C_1/C_2 i zavojnica L_1 koja mora resonirati na ulaznu frekvenciju. Na izlazu je serijski titrajni krug za dvostruku frekvenciju, L_2 i C_6 . Na trostruku frekvenciju ugođene su zavojnice L_3 i L_4 kondenzatorima C_3 i C_5 . Kondenzator C_4 i ovdje služi za vezu sa antenom.

Otpornici R_1 i R_2 moraju biti, ovisno o tranzistorima, izabrani tako da se postigne što veći izlazni napon frekvencije 432 MHz.

Utrostručivač frekvencije s cijevima

Za utrostručivanje frekvencije sa 144 na 432 MHz je možda lakše nabaviti pogodne elektronske cijevi nego varaktorske diode.

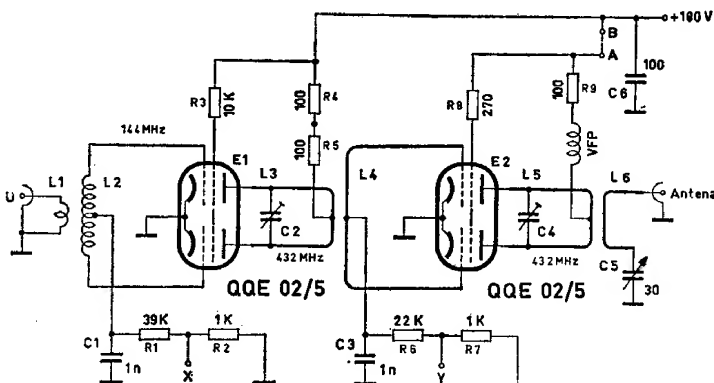
Moguće je, svakako, da se iza nekog utrostručivača frekvencije neposredno priključi antena. To je dopušteno ako smo se prethodno uvjerali da utrostručivač uz željenu frekvenciju ne proizvodi još i druge više harmoničke ili, što je također često moguće, da ne propušta i 144 MHz u određenoj mjeri. Jedno i drugo se može izbjeći, kako znamo, dodatkom posebnog filtera za 432 MHz između utrostručivača i antene. Još je bolje ako se iza utrostručivača doda stupanj za pojačanje snage na istoj, višoj frekvenciji. Tako se dobije i daleko veća izlazna snaga.

Cijev E_1 na sl. 12-38 je iskorištena kao utrostručivač frekvencije 144 MHz na 432 MHz. Druga cijev, E_2 , pojačava ovako dobivenu frekvenciju i daje 6 W kod FM-telefonije, ako su obje cijevi istog tipa: QQE 02/5 ili QV 02/6 ili 6939.

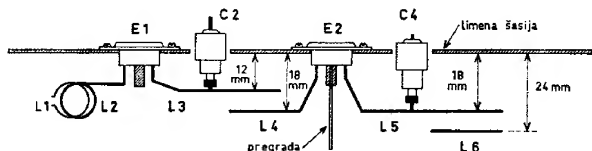
Signal frekvencije 144 MHz dovodi se preko priključnice U i zavojnice L_1 na ulazni titrajni krug. U njemu je zavojnica L_2 koja resonira bez dodatnih kondenzatora, s kapacitetima cijevi, na istu frekvenciju. L_1 ima jedan, a L_2 oko 5 zavoja žice 1,0 do 1,5 mm, CuL, na promjeru 18 mm. Ulazni titrajni krug treba ugoditi pomoću grid-dip metra mijenjajući dužinu zavojnice L_2 .

Anodni titrajni krug prve cijevi treba ugoditi na 432 MHz pomoću trimerskog promjenljivog kondenzatora C_2 s maksimalnim kapacitetom do 8 pF. Umjesto zavojnice služi petlja od žice, L_3 . S njom je induktivno vezana petlja L_4 koja se nalazi na ulazu u slijedeći stupanj.

U izlaznom titrajnom krugu je petlja od žice, L_5 , koja se pomoću trimera C_4 (do 8 pF) ugađa na 432 MHz. Veza sa antenom je induk-



Sl. 12-38. Shema utrostručivača frekvencije 144/432 MHz s pojačalom. Cijevi su dvostruke tetrode QQE 02/5



Sl. 12-39. Raspored i međusobni položaji titrajnih krugova za uređaj prema sl. 12-38. E_1 i E_2 su »noval« podnožja za upotrebene dvostruke UKV tetrode

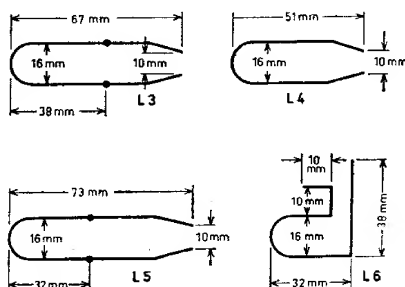
tivna, preko L_6 . Kondenzator C_5 služi za postizanje što boljeg prilagođenja na antenski kabel.

Oba stupnja stanu na šasiju veličine $22 \times 7,5 \times 5$ cm. Glavni dijelovi dolaze u nizu, poredani kroz sredinu šasije, prema skici na sl. 12-39. Na šasiji su otvori za podnožja cijevi E_1 i E_2 . Kroz posebne otvore strše trimeri C_2 i C_4 . Pod šasijom su i sve zavojnice. L_1 i L_2 postavljene su tako da je njihova os paralelna sa šasijom. Petlje L_3 , L_4 , L_5 i L_6 svojim ravninama paralelne su sa šasijom, a treba ih načiniti od žice 1,5 mm CuL, prema obliku i dimenzijama, prikazanim na sl. 12-40.

Kad je sve ugođeno i kad je pobuda dovoljna može se voltmetrom velikog unutrašnjeg otpora između tačke X i šasije izmjeriti napon od 2 V, a između tačke Y i šasije napon od 1,2 do 1,3 V. Jakost anodne

struje prve cijevi je oko 26 mA, a druge cijevi oko 40 mA. Struja zaštitnih mrežica je 5 mA kod prve, a 9 mA kod druge cijevi.

Za telegrafiju bi trebalo da obje cijevi imaju stalan prednapon, če-



Sl. 12-40. Oblici i dimenzije za petlje od žice, koje služe kao induktiviteti L_3 , L_4 , L_5 i L_6 . Vidi sl. 12-38, sl. 12-39 i tekst

ga ovdje nema. Zato se anodni napon ne smije priključiti ako nema pobude. Inače bi anodna struja bila prevelika pa bi cijevi mogle stradati od preterećenja.

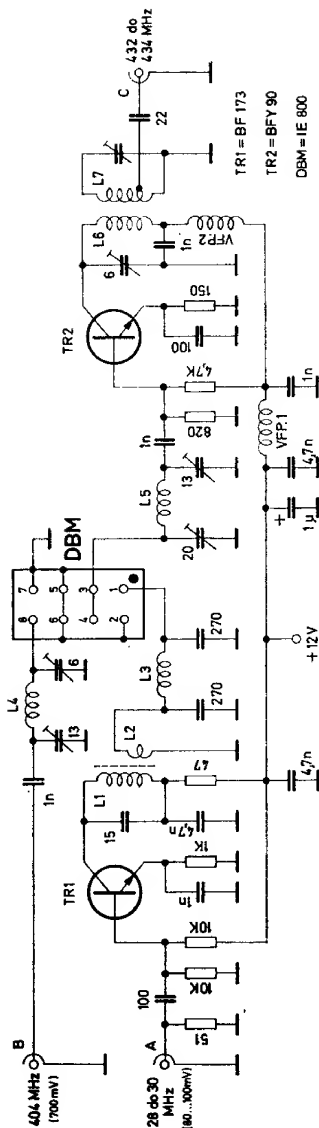
Utrostručivanje frekvencije, koliko god bilo zanimljivo za eksperimente, pomalo se napušta u praksi. U novije vrijeme se primjenjuju druge metode od kojih ćemo neke upoznati.

**Najsavremenije i najbolje:
miješanjem!**

Najsavremeniji način da se visokofrekventni signal bilo koje vrste »prenese« u 70-centimetarsko područje, te da pri tome zadrži sve svoje dobre kvalitete, je miješanje. Danas se za takve svrhe najradije upotrebljavaju *dvostruko balansirani mikseri (DBM)*, onakvi koji mogu služiti i za miješanje u prijemnicima.

Danas ima mnogo takvih mogućnosti, od samogradnje do ugradnje gotovih miksera. Amater je pri samogradnji takvog miksera često suočen s problemom nabavke feritnih jezgrica potrebne kvalitete, a osobito problemom da pronađe odgovarajuće diode. Za kratkovalne frekvencije mogu se upotrebiti, barem za amaterske gradnje, silicijevе minijaturne visokofrekventne diode. One već na frekvencijama oko 432 MHz, kao i na onim još višima, ne odgovaraju. Njihov vlastiti kapacitet sve više onemogućuje pravilno ispravljačko djelovanje. Bolje su *Schottky-jeve* (šotki) diode koje su mnogo »brže«, ali ih je teže nabaviti. Gotovi, *tvornički proizvedeni DBM*, sadrže vrlo dobre »šotkice« i hermetički su zatvoreni u malom, metalnom kućištu (20×10×8 mm!) sa nožicama za direktno lemljenje na »štampanu« pločicu.

Većina takvih miksera može raditi do frekvencije oko 500 MHz. Budući da se radi o tzv. pasivnom mikseru, neizbježivi su gubici. Oni mogu kod različitih proizvoda ove



Sl. 12-41. Shema sklopa za miješanje frekvencije od 404 MHz i frekvencije 28 do 30 MHz za transpoziciju deset-metarskog signala u 70-metarsko područje. DMB je dvostruko balansirani mikser (IE-500 ili IE-800).
Opis u tekstu

vrste biti, kod 432 MHz, oko 7 do 9 dB. Najpoznatiji od njih je sa oznakom »SRA-1« i »IE-500«. Specijalni DB-mikser za UKV koji se može upotrebiti sve do 800 MHz izrađuje tvornica »Industrial Electronics« pod oznakom »IE-800«. On ima na frekvencijama oko 432 MHz gubitke miješanja oko 6 dB.

Na shemi, sl. 12-41, vidi se takav mikser sa donje strane. Ima ukupno 8 nožica. Nožica br. 1 je redovito označena plavom bojom.

Tranzistor TR_1 (BF173 ili BF 224) na svom ulazu A preuzima desetmetarski signal (28 do 30 MHz) koji treba da ima 80 do 100 mV na 50 Ω . Na ulazu je otpornik od 51 Ω zbog što pravilnijeg neinduktivnog opterećenja predstupa. Pojačan signal pojavljuje se u kolektorskom titrajnom krugu, sa zavojnicom L_1 . Ona je u induktivnoj vezi sa L_2 , od koje 10-metarski signal odlazi na ulaznu priključnicu (nožica br. 1) DB-miksera. Taj može biti bilo koji, ako samo omogućuje rad do frekvencija oko 500 MHz. Najbolje će poslužiti specijalni mikser za UKV: IE-800. Ulazna im-

pedancija miksera je 50 Ω pa je za prilagođenje upotrebljen PI-filiter sa zavojnicom L_3 (vidi tablicu 12-5).

Na drugi ulaz (nožica br. 8), od priključnice B, preko prilagodnog filtera sa zavojnicom L_4 , dolazi oscilatorski signal frekvencije 404 MHz (oko 700 mV). Oba signala, desetmetarski i oscilatorski, miješaju se pomoću četiri Schottky-diode u unutrašnjosti DBM-a tako, da se na njegovom izlazu (zajedno vezane nožice br. 3 i br. 4) dobiju produkti miješanja od kojih nas interesira onaj u opsegu između 432 i 434 MHz. Da ga izdvojimo, vodimo izlazni signal preko PI-filtera sa zavojnicom L_5 . Taj signal treba još pojačati. Prvi stupanj za pojačanje, sa tranzistorom TR_2 (BFY 90 ili njemu sličan) dovoljan je da nadoknadi sve gubitke pri miješanju. Za još bolju filtraciju korisnog signala na izlazu je primijenjen band-filter sa zavojnicama L_6 i L_7 . Odvojak na L_7 odabran je tako da izlaz C odgovara impedanciji 50 Ω . Tu se dobije 70-centimetarski signal koji se dalje vodi u niz linearnih pojačala (ako je to SSB-signal ili bilo

Tablica 12-5. Zavojnice za uređaj, prema sl. 12-41, kojim se putem miješanja postižu 70-centimetarske frekvencije

Oznaka	Broj zavoja	Debljina i vrsta žice	Napomena
L_1	18	0,3 mm, CuL	Na tijelu promjera 5 mm *)
L_2	3	0,3 mm, CuL	Na hladnom kraju, preko L_1
L_3	12	0,4 mm, CuL	Bez tijela. Unutrašnji promjer 3 mm
L_4	1,5	1 mm, CuAg	Bez tijela. Unutrašnji promjer 5 mm
L_5	2,5	1 mm, CuAg	Bez tijela. Unutrašnji promjer 4 mm
L_6	1,5	1 mm, CuAg	Bez tijela. Unutrašnji promjer 4 mm
L_7	1,5	1 mm, CuAg	Bez tijela. Unutrašnji promjer 4 mm Odvojak približno 6 mm od hladnog kraja
VFP. 1 i VFP. 2	5	0,3 mm, CuL	Namotano na feritni prstenčić, dugačak 5 mm, promjera oko 3,5 mm

*) Sa UKV jezgrićom za ugađanje, promjera 3,5 mm.

koji drugačiji) ili u niz pojačala klase C (ako se radi o telegrafskom ili frekventno moduliranom signalu).

Pojačalo snage koje bi se moglo upotrebiti vidi se na shemi, sl. 12-42 i na sl. 12-43.

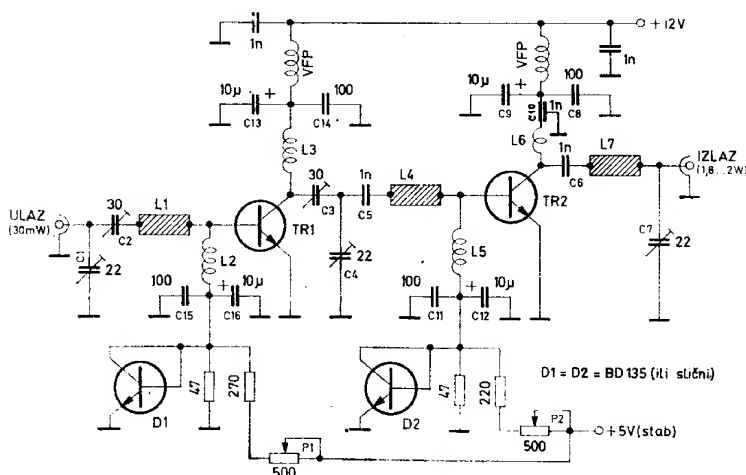
Linearno pojačalo za 432 MHz sa dva tranzistorska stupnja u klasi AB

Linearno pojačalo, prema sl. 12-42, ima dva stupnja. Tranzistori mogu biti u različitim kombinacijama. Kao TR_1 i TR_2 mogli bi se izabrati 2N3866 i 2N5944, ili C1—12 i C3—12, odnosno neka druga dva slična tranzistora. Sa ulaznom pobudom od približno 30 mW dobije se izlazna snaga (na 432 MHz) blizu 2 W. Nešto jača pobuda je dopuštena samo kod telegrafije ili FM-signala da se postigne izlazna snaga oko 3 W. Za pojačanje SSB-signala moći će se »ići« do izlazne snage oko 1,5 W (u prosjeku) da signal ostane čist, bez izobličenja.

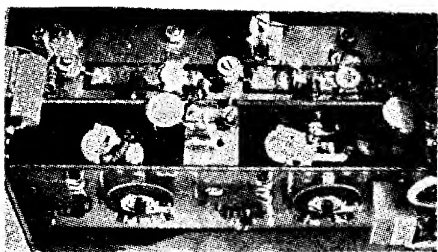
Upotrebimo li jače tranzistore, npr. 2N5944 i 2N5946, ili C3—12 i C12—12, moći ćemo, dakako uz jaču pobudu, postići kod telegrafije

i kod FM-telefonije izlaznu snagu oko 10 ili, možda, nešto više vata. Za pojačanje SSB-signala zadovoljit ćemo se sa izlaznom (prosječnom!) snagom od 3 do najviše 4 W, da se spriječi stvaranje izobličenja i nevolja koje ih prate. Jedan amater je rekao: »Ja sam i kod SSB »izvukao« 10 vata!« — Možda, *ali kakvih?* I, na kojim su sve frekvencijama bili ti vati? — *Pretjerana pobuda kod SSB-signala vodi do pojave »širokog« signala i do pojave smetnje svih vrsta.* To se događa zato jer pojačalo prestaje biti »linearno« kod prejake pobude; za modulacijske vrhove nema više »mjesta« u kolektorskoj struji tranzistora! Uz prosječnu snagu od 3, najviše 4 vata, vrhovi će sigurno dosizati preko 10 ili čak preko 12 W. No, to se može izmjeriti samo osciloskopom!

Na shemi vidimo još dva tranzistora koji su označeni kao D_1 i D_2 . Oni su i spojeni kao diode. Kolektori su vezani sa bazama da se dobije tzv. *tranzistorska dioda*. Pad napona na njima je vrlo konstantan i može se »odmjeriti« potencimetrima P_1 i P_2 tako da tranzistori TR_1 i TR_2 mogu raditi u klasi AB. Tranzistor TR_1 treba na taj način da postigne *mirnu* kolektorsku



Sl. 12-42. Linearno pojačalo snage za frekvencije oko 432 MHz



Sl. 12-43. Pogled na prototip linearnog pojačala prema sl. 12-42

struju od 10 do 30 mA. Mirna kolektorska struja tranzistora TR_2 neka bude 25 do 55 mA.

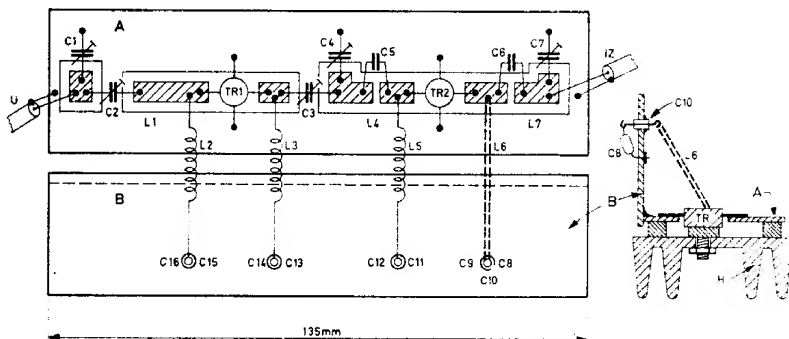
Kako je i na shemi nacrtano, induktiviteti L_1 , L_4 i L_7 nisu ostvareni zavojnicama, već bakrenim trakama. One se vide na fotografiji uređaja koji smo sagradili.

Na sl. 12-43, sprijeda je okomita pločica na kojoj su montirani potencijometri P_1 i P_2 , kao i tranzistorske diode D_1 i D_2 . Sasvim straga vide se trimerski kondenzatori, bakrene trake i tranzistori. Oblik i veličina bakrenih traka, položaj tranzistora i kondenzatora, bolje se vidi na sl. 12-44. Upotrebene su dvije pločice od kaširanog vitroplasta. Prva (A) ima dimenzije 135×35 mm, a druga (B) 135×30 mm. One su jedna s drugom zalem-

ljene tako da stoje okomito jedna na drugu (sl. 12-44, desno). Pločica A ima na sebi bakrene trake, kondenzatore i tranzistore i učvršćena je na aluminijsko hladilo. Pločica B nosi 4 provodna kondenzatora. C_{10} koji je ovdje nacrtan je jedan od njih. Između određenih tačaka na pločici A i ovih provodnih kondenzatora (po 500 do 1000 pF svaki) montiraju se (koso!) zavojnice L_2 , L_3 , L_5 i L_6 . Posljednja od njih i nije prava zavojnica. To je 2 do 2,5 cm dugačak komad posrebrene bakrene žice, debele 2 mm. L_2 i obje VFP su širokopojasne visokofrekventne prigušnice, namotane sa 2,5 zavoja na feritnim valjčastim jezgricama koje imaju 6 rupica. Zavojnica L_3 je namotana na promjeru od 3 mm i sastoji se od 16 do 17 cm bakrene lakirane žice (CuL), debljine 0,4 do 0,5 mm. L_7 je mala UKV prigušnica koja ima samo 1,5 zavoja žice (0,4 mm, CuL), provučene kroz feritni valjčić, dug 5 mm, s promjerom približno 3,5 mm.

Na vanjskoj strani pločice B montira se ostalo: kondenzatori, prigušnice VFP i drugo. Treća pločica, koja nosi potencijometre i tranzistorske diode, stoji paralelno sa pločicom B (sl. 12-43).

Kondenzatori C_5 i C_6 moraju biti najdirektnije zalemljeni, sa pri-



Sl. 12-44. Izgled bakrom kaširanih pločica (A i B) koje služe za izgradnju linearnog pojačala snage za 432 MHz. Desno, sa strane je mehanički detalj koji pokazuje položaje pločica, tranzistora na hladilu, provodnog kondenzatora (C_{10} , C_8) i žice koja predstavlja induktivitet L_6 . Ostalo u tekstu

ključnim žicama reduciranim na «nulu». Možda po dva minijatura od 500 pF?

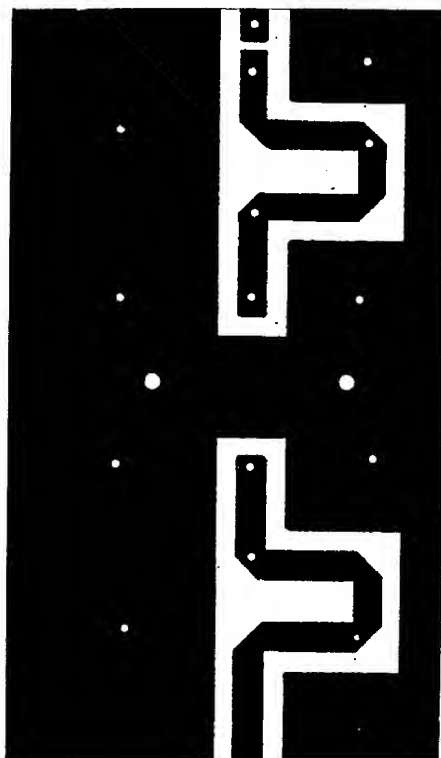
25 vata na 70 centimetara

Danas postoje tranzistori koji mogu i kod frekvencija unutar 70-centimetarskog opsega dati prilično velike snage. Jedan od njih je *MRF618*. Prema tvorničkim podacima, odnos ulazne (pobudne) snage i izlazne snage je:

ulaz 0,6 W	izlaz 5 W,
1 W	10 W,
1,5 W	15 W,
3 W	20 W,
6,4 W	25 W.

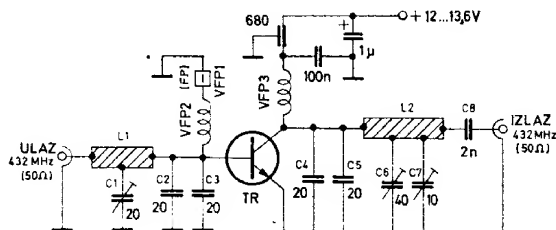
Vidimo da je kod manjih pobudnih snaga pojačanje deseterostruko. Ono sa jačom pobudom postaje manje, tako da se za postizavanje izlazne snage od 25 W mora primijeniti pobuda sa snagom koja je samo za faktor 4 manja. Linearno pojačanje *do tako velike snage* nije moguće, ali ovo smanjivanje pojačanja ne smeta kod telegrafije i kod frekventne modulacije.

Snažno pojačalo za 432 MHz, prema sl. 12-45, predviđeno je za rad u klasi C. Tranzistor *MRF618*, nažalost, nismo imali. Na sreću, na jednak način može se načiniti pojačalo i s drugim tranzistorima, npr. sa 2N5946 ili nekim drugim jačim tranzistorom koji može raditi na tako visokim frekvencijama, recimo C25-12 i sličnima.

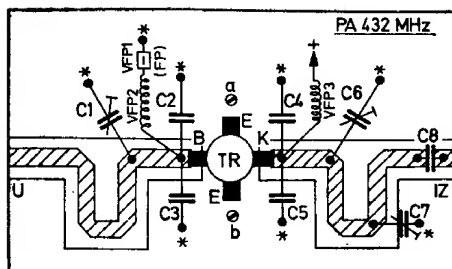


Sl. 12-46. Dvostruko kaširana vitroplast pločica (83×50 mm) za UKV pojačalo snage, prema sl. 12-45

I shema i izgled štampane pločice, sl. 12-46, nacrtani su, uglavnom, prema tvorničkim podacima i preporukama.



Sl. 12-45. Snažno UKV pojačalo za telegrafiju i za FM-signale sa jednim tranzistorom. Može poslužiti kao dodatni izlazni stupanj iza postojećeg primopredajnog uređaja manje snage



Sl. 12-47. Raspored glavnih sastavnih dijelova na pločici, sl. 12-46

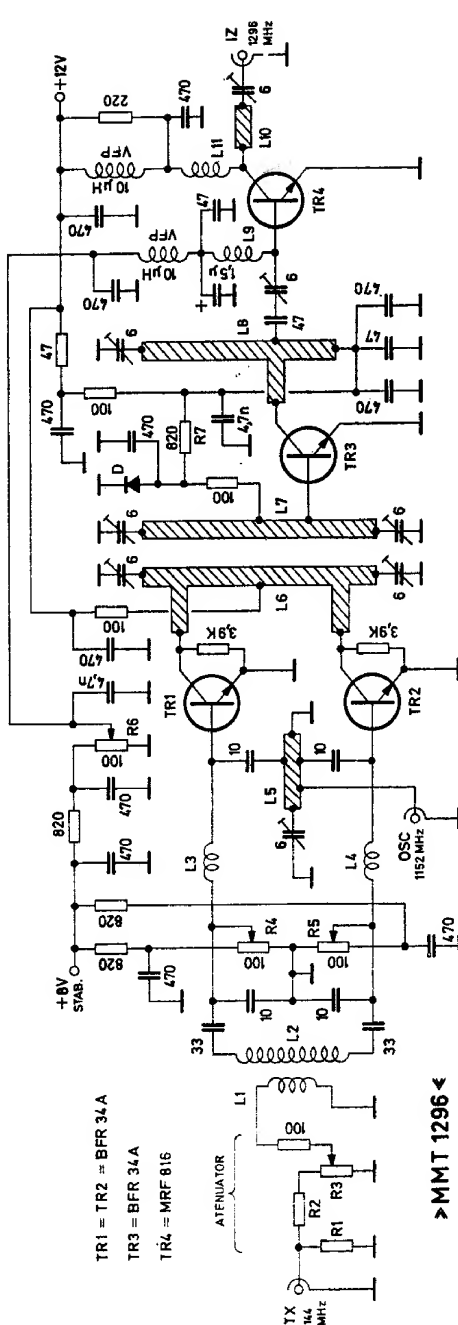
Iako bi kaširani teflon bio bolji, pojačalo se može graditi i na pločici od vitroplasta. Ona mora biti bakrom kaširana *sa obje strane*. Jedna strana ostaje bez promjene, dok se na onoj strani koja će služiti kao »gornja« i na koju će se montirati i zalemiti svi dijelovi moraju pripremiti trake, prema crtežu na sl. 12-46. Te trake će služiti kao ulazni i kao izlazni induktiviteti.

Raspored najvažnijih sastavnih dijelova na pločici prikazuje sl. 12-47. Mjesta koja su označena zvjezdicom, kao i tačke *a* i *b*, treba probušiti kroz pločicu, te kroz tako dobivene rupice provući bakrenu žicu i *zalemiti je s obje strane* na bakreni sloj.

Svi trimerski kondenzatori ugađaju se na maksimum izlazne snage uz dobar SWR-odnos između pobudnog uređaja i ulaza ovog pojačala.

Kako doseći još više frekvencije?

Samogradnjom to više, bez odgovarajućih materijala i sastavnih dijelova, nije lagano. Unatoč toga, manja grupa naših amatera je osvojila i *opseg frekvencija oko 1296 MHz*. Do tih se frekvencija, u principu, može doći utrostručenjem sa 432 MHz, kao i miješanjem. Opremu za rad na tim frekvencijama su, koliko nam je poznato, oni malobrojni nabavili kupnjom i



Sl. 12-48. Primjer uređaja kojim se može transportirati dvometarski signal u opseg frekvencija oko 1296 MHz. Opis u tekstu

> MMT 1296 <

uvozom gotovih uređaja. Predaleko bi nas odvelo da u ovoj knjizi ulazimo u mnoge konstrukcijske detalje. Nema za to dovoljno prostora, a »specijalisti« se za svoje potrebe i onako služe i drugom literaturom.

Za one znatijeljne među nama, ali i kao poticaj za osvajanje tih opsega, donosimo sl. 12-48. Tu je shema najvažnijeg dijela uređaja MMT 1296 s kojim rade neki naši amateri. Miješanjem frekvencije nekog dvometarskog signala sa oscilatorskom »injekcijom« na 1152 MHz postiže se frekvencija u 23-centimetarskom opsegu.

Na ulazu je attenuator sa otpornicima R_1 , R_2 i R_3 za redukciju snage dvometarskog signala. Da on ne bi bio prejak služi i to da je kao R_3 u attenuatoru upotrebljen potenciometar.

Tranzistorski par TR_1 i TR_2 (dva tranzistora BFR34A) spojena su tako da dvometarski signal na njihove baze dolazi protufazno, a oscilatorska injekcija sa istom fazom. Izlazni titrajni krug koji resonira

na 1296 MHz ima resonator u obliku trake (L_6), ugođene trimerskim kondenzatorom od po 6 pF maksimalnog kapaciteta. Na taj su resonator priključeni kolektori tranzistora za miješanje. Resonator L_6 i resonator L_7 su induktivno vezani i formiraju *bandfilter* za opseg frekvencije 1296 MHz. Na L_7 je spojena baza tranzistora TR_3 . Ona ima prednapon, pomoću diode D , za rad kao linearno pojačalo. Ovaj tranzistor (opet BFR34A) pojačava 23 cm signal i preko resonatora sa trakom, L_8 , pobuđuje izlazni tranzistor TR_4 (MRF816).

Ista tvornica (*»Microwave Modules, LTD«*) isporučuje i linearna pojačala za ove frekvencije tako da se postižu izlazne snage od nekoliko vata.

Veća aktivnost naših amatera zapažena je i na opsegu još viših frekvencija, na 10 GHz. Djelomično se tu radi sa uređajima koji su amateri sami gradili. Budući da su to, pretežno, primo-predajnici, bit će o njima govora u posebnom poglavlju (16).

AMPLITUDNA MODULACIJA

AMPLITUDNO MODULIRANI SIGNAL

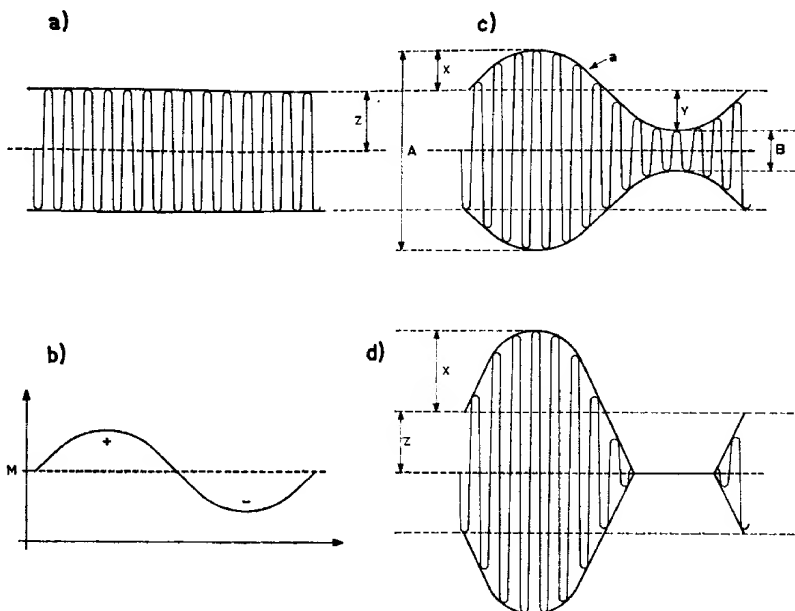
Kod radio-telefonije, za sporazumijevanje riječima prenošenim pomoću radio-veze, potrebno je da se neki *val nosilac* (*»Carrier Wave«*, *»onde porteuse«*, *»Trägerwelle«*, no-seći talas) na neki način *modulira* zvučnim frekvencijama govora. Pri tome kao val nosilac služi neka izmjenična visokofrekventna struja, stalne amplitude i stalne frekvencije. Modulacijom se, u ritmu govornih frekvencija, valu nosiocu mijenja ili amplituda ili frekvencija ili faza. Prema tome, razlikujemo *amplitudnu modulaciju* (skraćeno: AM), *frekventnu modulaciju* (skraćeno: FM) i *faznu modulaciju* (skraćeno: PM).

Amplitudna modulacija je u početku bila isključivi oblik modulacije kojim su se služili radio-amateri. U srednjevalnom, radiofonij-skom području je amplitudna modulacija i danas još jedini način prenosa govora i glazbe. Razlog leži u tome da se amplitudno modulirani radio-valovi mogu primati i najjednostavnijim prijemnicima.

Iz amplitudne modulacije se razvila posebna vrsta, tzv. SSB-telefonije. O njoj će biti govora u posebnom poglavlju. Također će u posebnim poglavljima biti govora o frekventno i fazno moduliranim signalima.

Ovdje ćemo iznijeti samo najosnovnija svojstva i nekoliko najtipičnijih primjera amplitudne modulacije.

Na sl. 13-1a prikazan je nemo-
duliran val nosilac. Svi načini ko-
jima se postiže amplitudna modu-
lacija idu za tim da se mijenjanjem
neke električne veličine (M , na sl.
13-1b) pojačavaju (+) ili oslabe (—)
visokofrekventne oscilacije predaj-
nika. Ovo pojačavanje i oslabljiva-
nje mora, razumije se, biti u ritmu
neke niske, zvučne frekvencije. Kao
rezultat ovakve modulacije dobije
se tzv. *amplitudno modulirani sig-
nal*. Jedan takav je predložen crt-
njom na sl. 13-1c. Amplitude VF ti-
traja postaju sve veće, dosežu neki
maksimum, smanjuju se do nekog
minimuma i onda ponovno rastu.
Pri tome njihova *anvelope* (francu-
ski: *»enveloppe«* = omot, plašt; kri-
vulja koja obavlja sve amplitude)
slijedi tok niskofrekventnih pro-
mjena, prouzročenih modulacijom
(sl. 13-1b). Analizirajući visokofrek-
ventni signal koji ima takvu anve-
lopu moguće je utvrditi da se on
zapravo sastoji od *tri komponente*.
Uz pretpostavku da je anvelope si-
nusoidalna i da se amplituda viso-
kofrekventnih titraja mijenja frek-
vencijom od 1000 Hz, analiza poka-
zuje da su prisutne *tri* frekvencije:
val nosilac i dvije *bočne* frekven-
cije. Od ovih je jedna za 1000 Hz
viša a druga za 1000 Hz niža od
frekvencija vala nosioca. Ove tri
frekvencije se mogu vrlo lako odi-
jeliti jedna od druge pomoću pri-
jemnika velike selektivnosti. Pri to-
me, što je najinteresantnije, i frek-
vencija i *amplituda* samog vala no-
sioca ostaju konstantne. Val nosilac
se kod amplitudne modulacije *ništa*
ne mijenja. Mijenja se *isključivo*



Sl. 13-1. Uz objašnjenje amplitudne modulacije: a) nemodulirani »val nosilac«; b) niskofrekventni modulacijski napon; c) amplitudno modulirani signal; d) kad modulacija pređe 100%, oscilacije se trgaju, kvaliteta modulacije postaje loša i nastaju vrlo jake smetnje naširoko oko radne frekvencije predajnika

amplituda *anvelope* *a* zbog pojave bočnih frekvencija. Prisutnost vala nosioca je u predajniku potrebna samo za formiranje tih bočnih frekvencija, dok u prijemniku njegova prisutnost omogućuje demodulaciju signala jednostavnim tehničkim sredstvima.

Za prijenos govora, kako znamo, potrebno je obuhvatiti barem one zvučne frekvencije koje leže između 300 i 3000 Hz. Ako se dakle amplitudna modulacija postiže sa frekvencijama govora, nastat će sa svake »strane« vala nosioca po jedan bočni pojas, gornji i donji. Oni, zajedno s valom nosiocem obuhvataju ukupnu širinu »kanala« od 6 kHz. Selektivnost prijemnika mora biti takva da ovo sve propusti.

Za najkvalitetniju reprodukciju muzike trebalo bi prenijeti znatno šire područje niskih frekvencija, do

15 kHz ili više. To znači da bi kod amplitudne modulacije širina kanala morala biti najmanje dva puta tolika, dakle barem 30 kHz. I razmaci između frekvencija pojedinih valova nosilaca različitih radio-stanica morali bi onda biti također toliki. Tada bi, međutim, unutar određenog, npr. srednjevalnog područja moglo istovremeno raditi samo vrlo malo stanica. Za srednji je val pronađeno kompromisno rješenje: razmak između pojedinih emisionih kanala je u Evropi normiran sa 9 kHz, pa je maksimalna modulacijska frekvencija samo 4,5 kHz. Zato na srednjem valu nema ni Hi-Fi kvalitete prenosa.

Kod amaterskih radio-stanica treba za telefoniju koristiti najuži mogući kanal. Otuda preporuka da se niskofrekventni opseg modulatora ograniči na maksimalno 3000 Hz.

Ako slovom Z označimo amplitudu vala nosioca (sl. 13-1c), onda je X povećanje i Y smanjenje amplitude anvelope AM-signala. Kod sinusoidalnih niskofrekventnih promjena će biti $X = Y$. Jačinu modulacije tada izražavamo kao omjer:

$$m = \frac{X}{Z} = \frac{Y}{Z}$$

Amplituda anvelope može najdalje pasti na nulu. To će biti ako je $X = Z$, pa izlazi da je $m = 1$. Inače je m broj koji je redovito manji od jedinice. Veličinu m nazivamo *modulacijskim faktorom* ili *modulacijskim indeksom*. Kod amplitudne modulacije on normalno može biti između nule i jedinice. Češće se jačina modulacije izražava u *procentima*, pa je:

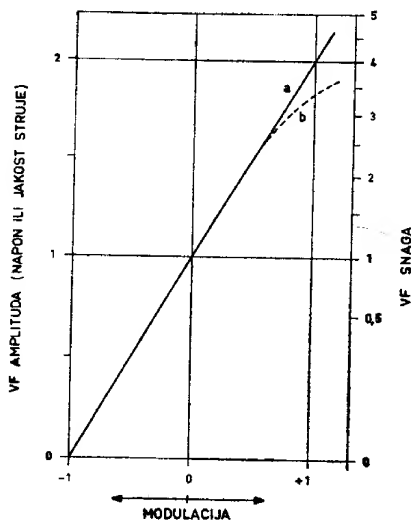
$$m(\%) = \frac{X}{Z} \cdot 100$$

ili

$$m(\%) = \frac{Y}{Z} \cdot 100$$

Ukoliko bi amplituda anvelope AM-signala premašila amplitudu samog vala nosioca (Y veće od Z) rezultat za m bi računski izašao veći od jedinice ili veći od 100%. U praksi bi dolazilo do »trganja« oscilacija (sl. 13-1d) i do iskrivljavanja oblika anvelope. Ova iskrivljenja uzrokom su pojavi mnoštva viših modulacijskih frekvencija. Uslijed toga se kanal zauzetih frekvencija veoma proširi, dok je u primenicima reprodukcija jako izobličena. Osim toga se i na susjednim kanalima pojavljuju vrlo neugodne smetnje, tzv. »splateri«, koji i drugim radio-stanicama onemogućuju rad. Ovo se može izbjeći samo tako da modulacija *nikada* ne pređe 100%. Za sigurnost je dobro držati se malo ispod te vrijednosti.

Snaga emitiranog signala je bez modulacije stalna. Ona će kod 100-procentne modulacije doseći *četverostruku* vršnu vrijednost ako je modulacijska karakteristika predajnika *linearna* (sl. 13-2). To je zato jer je onda amplituda dvostruka i



Sl. 13-2. Modulacijska karakteristika predajnika

za napon i za jakost struje. Budući da je snaga jednaka umnošku jednoga i drugoga, ona naraste na četverostruk iznos. Najčešće ipak, osobito kod amaterskih predajnika kod kojih su izlazni stupnjevi maksimalno iskorišćeni, modulacijska karakteristika nije sasvim linearna. Umjesto krivulje *a* vrijedi, npr. krivulja *b* (sl. 13-2) pa se kod amplitudne modulacije postižu nešto niže vršne vrijednosti.

Modulacijom se povećava i prosječna vrijednost snage koju emitira neki predajnik. Tako će snaga kod 100% modulacije porasti ukupno za 50%, ako su modulacijom bile izazvane sinusoidalne promjene. Tada i efektivna jakost antenske struje predajnika postaje veća. Iz tablice 13-1 vidi se da je kod sinusoidalne, 100-procentne modulacije antenska struja za 22,6% veća nego dok postoji sam val nosilac. Kod prenosa govora to nije tako. Niskofrekventne struje koje pripadaju govornim frekvencijama imaju razmjerno vrlo visoke »vrhove« kojima se postiže 100-procentna modulacija, ali njena *prosječna* vrijed-

Tablica 13-1. Utjecaj modulacije na jakost antenske struje

Stupanj modulacije (%)	Odnos:	Povećanje antenske struje (%)
	Snaga modulatora INPUT predajnika	
50	0,125	6,0
60	0,18	8,6
70	0,245	11,5
80	0,32	15,1
90	0,405	18,5
100	0,50	22,6

Napomena: Tablica vrijedi uz uvjet da je predajnik moduliran sinusoidalnim nisko-frekventnim signalom.

Uporedi: Za 100-procentnu modulaciju istog predajnika je potrebno dva puta toliko snage iz modulatora koliko za modulaciju do 70%.

nost redovito ne prelazi kojih 30%. Prosječni porast antenske struje iznositi će tada samo nekoliko procenata, osim ako modulator sadrži i neki sklop za ograničenje amplitude sa pripadajućim filterom.

Važan preduvjet za postizavanje kvalitetne amplitudne modulacije jest da modulacija ne smije djelovati na stabilnost frekvencije vala nosioca. Pogonski napon, osobito anodni, moraju biti vrlo dobro filtrirani, bez brujanja, i što neovisni o opterećenju.

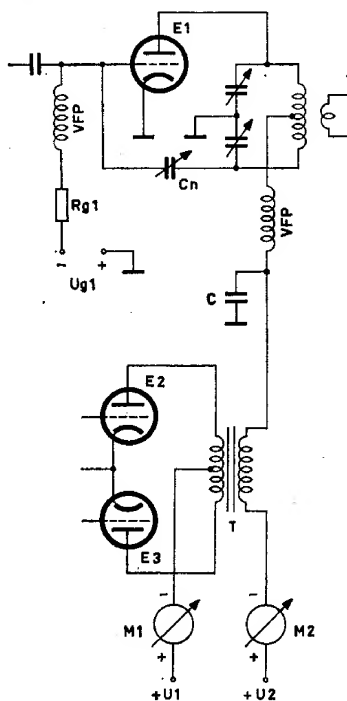
PRIMJERI AMPLITUDNE MODULACIJE KOD ELEKTRONSKIH CIJEVI I TRANZISTORA

Kod predajnika u kojima se upotrebljavaju elektronske cijevi, amplitudna modulacija se može postići na više načina. Ovdje ćemo opisati samo dvije najvažnije metode.

Anodna modulacija

Ako se anodnom naponu visokofrekventnog pojačala u klasi C dodaje modulatorski napon, postiže se anodna amplitudna modulacija. Za punu, 100% modulaciju mora se anodni napon na samoj cijevi mijenjati od nule do dvostrukog iznosa svoje normalne vrijednosti koju

ima bez modulacije. Ako je modulirani stupanj predajnika ispravno pobuđen i opterećen, amplituda mo-



Sl. 13-3. Princip anodne modulacije. $C=1$ do 5 nF , C_n =kondenzator za neutralizaciju, R_{g1} =odvodni otpornik mrežice. Ostala objašnjenja u tekstu

duliranog signala će slijediti promjene anodnog napona.

Na sl. 13-3 je prikazan princip anodne modulacije pomoću transformatora. Modulacijski transformator T je svojom primarnom stranom spojen na izlazni stupanj modulatora. Kroz njegovu sekundarnu stranu teče anodna struja triode E_1 koja se nalazi u izlaznom stupnju predajnika. Izlaznu impedanciju na sekundarnoj strani transformatora moramo prilagoditi impedanciji izlaznog stupnja koji se ponaša kao otpor R za koji vrijedi

$$R \text{ (k}\Omega\text{)} = \frac{\text{anodni napon cijevi } E_1 \text{ (V)}}{\text{jakost anodne struje (mA)}}$$

I anodni napon i anodna struja u gornjoj relaciji su oni koji postoje dok *nema* modulacije. Primarna impedancija transformatora T mora odgovarati cijevima (ili cijevi) u izlaznom stupnju samog modulatora.

Modulacija anode i druge mrežice

Kod tetroda i pentoda može se postići vrlo dobra, snažna i kvalitetna amplitudna modulacija ako se istovremeno djeluje na anodu i na drugu mrežicu izlazne cijevi predajnika koja radi u klasi C. Princip takve modulacije vidimo na sl. 13-4. Ovdje je T opet modulacijski transformator. Primarnom stranom je on u vezi sa izlaznim stupnjem modulatora. Preko sekundarne strane transformatora T se anoda i druga mrežica cijevi E_1 napajaju strujom iz istog izvora $+U$. Budući da je za drugu mrežicu redovito potreban niži napon nego za anodu, dodaje se otpornik R kojim se napon za drugu mrežicu cijevi E_1 smanji na potreban iznos.

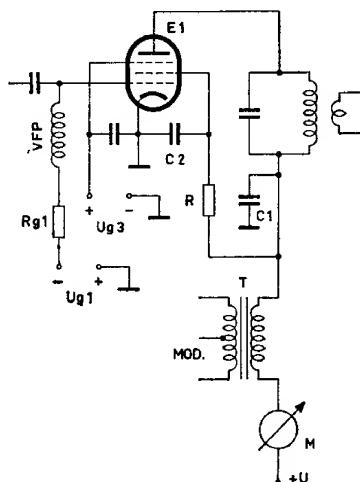
Sekundarna strana modulacijskog transformatora mora imati impedanciju koja se izračunava ovako:

$$R \text{ (k}\Omega\text{)} = \frac{U_a \text{ (V)}}{(J_a + J_{g2}) \text{ (mA)}}$$

Ovdje je U_a anodni napon, I_a jakost anodne struje i J_{g2} jakost struje druge mrežice cijevi E_1 za vrijeme dok nema modulacije.

Ako na ulaz modulatora priključimo neki niskofrekventni oscilator frekvencije 1000 Hz i ako okretanjem potenciometra za regulaciju jačine modulacije ovu pomalo povećamo, jakost anodne struje mora u početku ostati nepromijenjena. Kad dosegneмо takav stupanj modulacije kod kojega jakost anodne struje upravo počinje da raste, došli smo do granice koju ne treba prelaziti. Predajnik je tada 100-procentno moduliran pa bi svako daljnje pojačanje modulacije dovelo do izobličenja i do stvaranja »splattera«. Dok govorimo u mikrofona mora jakost anodne struje *ostati konstantna*.

Najbolje je, svakako, i ovu vrstu modulacije kontrolirati osciloskopom i pronaći najpovoljnije radne uvjete za snažnu i čistu modulaciju (vidi u poglavlju 16: »Ispitivanje i kontrola rada predajnika«).



Sl. 13-4. Amplitudna modulacija anode i zaštitne (druge) mrežice

Kolektorska modulacija

Od različitih mogućnosti amplitudne modulacije kod tranzistor-skih predajnika najčešće se primjenjuje kolektorska modulacija. Tu se mogu razlikovati dvije metode: *modulacija kolektorskog napona* i *modulacija kolektorske struje*.

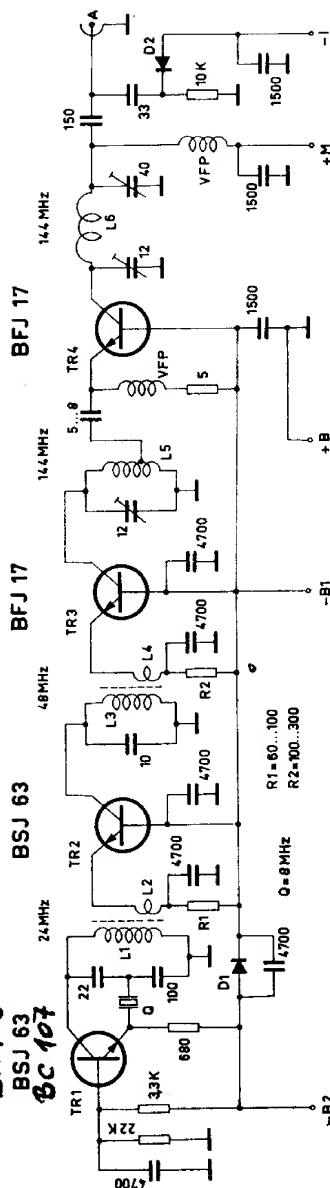
Iako je amplitudna modulacija u amaterskim valnim opsezima danas vrlo rijetka, donosimo dva primjera takve modulacije. (Usput podsjećamo da se kod primopredajnika u tzv. »građanskom« valnom području, oko 27 MHz, sve veze održavaju amplitudnom modulacijom!).

Na sl. 13-5 je shema dvometarskog predajnika s tranzistorima, a na sl. 13-6 pripadajući modulator. Primijenjena je *modulacija kolektorskog napona*.

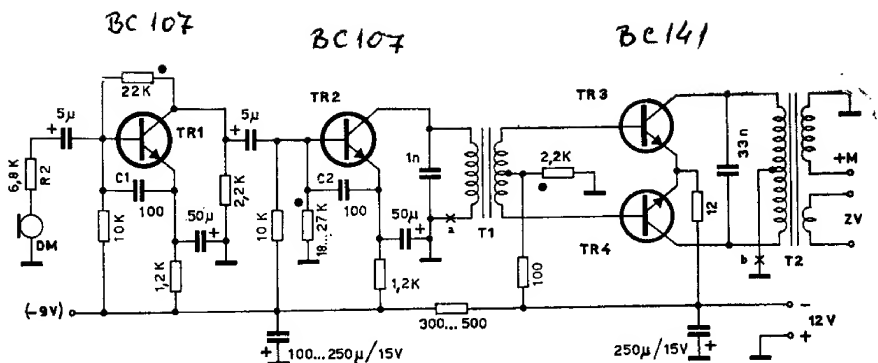
Predajnik može imati malu snagu, najviše oko 400 mW INPUT, ukoliko želimo za pogon upotrebiti normalne suhe baterije. Izlazna snaga OUTPUT, iznositi će tada 150 do 200 mW, ovisno o upotrebljenim tranzistorima. Na frekvencijama dvometarskog UKV opsega može se s takvom snagom, u gradu među kućama, računati sa dometom između 5 i 10 km ili više, ovisno o položaju i o vrsti vlastite antene, kao i o uređajima korespondenta. Na terenu, u pogodno izabranom »PORTABLE OTH«, u povoljnim prilikama, može se postići QRB od 80 do preko 200 km.

Shemu predajnika vidimo na sl. 13-5. Predviđen je maksimalni pogonski napon od 13,5 V, tj. koliko najviše mogu dati tri plosnate džepne baterije od po 4,5 V.

U dovodu pogonske struje za oscilator uključena je dioda D_1 . Ukoliko se pogonski napon dovede na priključnicu B_2 , ova dioda će spriječiti da struja poteče u sve stupnjeve predajnika. Preko B_2 može samo oscilator dobiti pogonsku struju. Ovo je korisno, ako želimo da, npr. na vlastitom prijemniku kontroliramo svoju radnu frekvenciju i da pronađemo njeno »mje-



Sl. 13-5. Shema odašiljača sa silicijevim tranzistorima za 144 MHz, sa kolektorskom modulacijom. Upotreb-
ljeni su domaći tranzistori (»RIZ-Zagreb«). $D_1 = D_2$ = germanijevе ili VF silicijevе diode. Obje prigušnice,
označene kao VFP, načinjene su tako da je 45 do 50 cm lakirane bakrene žice (CuL), debele 0,2 mm,
namotano na komadić bužirne cijevi promjera 3 mm. Ostalo u tekstu



Sl. 13-6. Shema tranzistorskog modulatora. Podaci za namatanje transformatora T_1 i T_2 u tekstu

sto« među ostalim signalima. Priključimo li pogonski napon preko B_1 dioda propušta struju i cijeli predajnik nesmetano proradi.

Pojedine titrajne krugove treba kontrolirati apsorpcionim valomjermom ili grid-dip-metrom da budemo sigurni na kojoj frekvenciji resoniraju. Bez toga postoji opasnost da neki titrajni krug ugodimo na krivu frekvenciju!

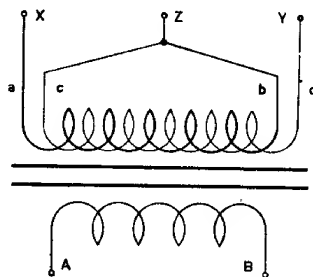
Dioda D_2 ispravlja malen dio izlaznog signala i omogućuje kontrolu predajnika osjetljivim mjernim instrumentom, priključenim između »I« i »šasije« (tj. pozitivnog pola izvora pogonskog napona koji može biti uzemljen).

Uz kvarcov kristal osnovne frekvencije između 8000 i 8100 kHz nalaze se dijelovi koji pripadaju »overtonskom« oscilatoru (sl. 13-5). U njemu se kristal pobuđuje odmah na 24 MHz. Iza toga, u sredini, nalazi se udvostručivač frekvencije kojim se postiže 48 MHz. U ova oba stupnja su tranzistori BSJ 63. Oni odgovaraju poznatim tranzistorima 2N708. Mogli bi poslužiti i BC107. Tik uz limenu pregradu, s njene desne strane je utrostručivač frekvencije. Tako dobiveni titraji frekvencije 144 MHz služe za pobuđivanje izlaznog tranzistora. U posljednja dva stupnja stavljeni su domaći tranzistori BFJ17.

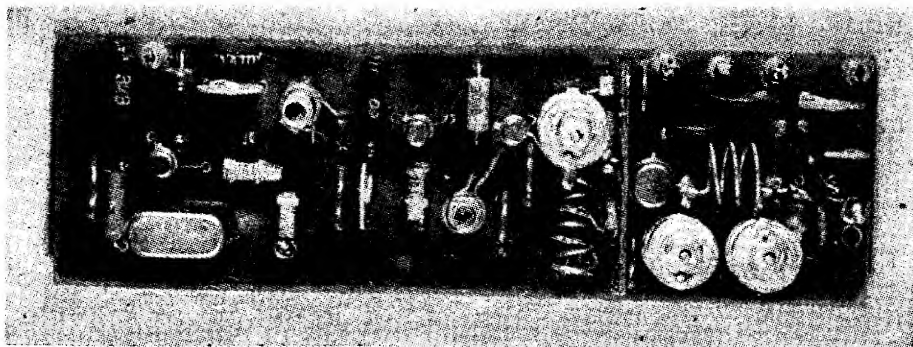
Shemu modulatora prikazuje sl. 13-6 dok njegov izgled vidimo na

sl. 13-9. Predviđen je za rad sa dinamičkim mikrofonom DM. Za modulator su bili upotrebljeni tranzistori: dva BC107 i par tranzistora BC141.

Transformator T_1 je tzv. pobudni (»drajverski«, »driver«) transformator. On treba da je namotan na transformatorskoj jezgri tipa EI-36 s presjekom od približno 1 do 1,4 cm². Primarna zavojnica ima 1200 zavoja, žica 0,1 mm, CuL. Sekundarna zavojnica ima dva dijela koji moraju biti i po broju zavoja i po svome omskom otporu, što je



Sl. 13-7. Transformatori za tranzistorske modulatore često imaju barem jednu zavojnicu koja ima odvojak u sredini. Njezine dvije polovice postizu se najlakše tako da se ovakva zavojnica namata odmah s dvije žice. Njihove krajeve treba onda spojiti prema ovoj slici. Objašnjenje i u tekstu

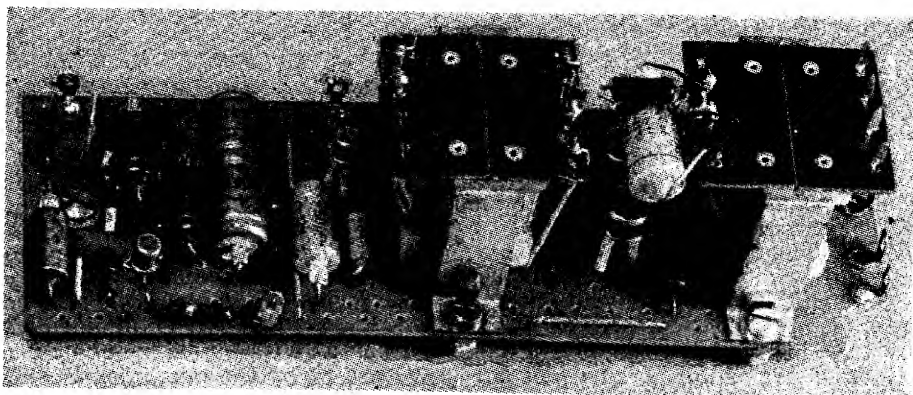


Sl. 13-8. Fotografija odašiljača za 144 MHz na pločici sa štampanim vodovima. Sasvim lijevo, dolje, vidi se kvarcov kristal (8,00 do 8,11 MHz) u overtonskom oscilatoru za 24 MHz. Desno od njea je udvostručivač frekvencije na 48 MHz. Iza njea slijedi utrostručivač na 144 MHz koji pobuđuje izlazni stupanj, smješten desno od limene pregrade

više moguće, jednaki. Najlakše je to postići na taj način da se istovremeno namataju dvije žice, jedna uz drugu, tako da se odmah dobije 2×400 zavoja, žice 0,15 mm, CuL. Jedna od tih žica, ona od *a* do *b* (sl. 13-7) predstavlja jednu polovicu. Druga od *c* do *d*, predstavlja drugu polovicu sekundarne zavojnice. Početak druge (*c*) i završetak prve zavojnice (*b*) treba spojiti u tačku Z. To je »sredina«. Početak prve (*a*) a završetak druge zavojnice (*d*) su krajevi X i Y na koje se priklju-

čuju baze izlaznih transformatora. Pri izradi transformatora T_1 dolazi sekundarna zavojnica bliže željeznoj jezgri. To je zato da omski otpor bude što manji. Preko ove, izolirana slojem tankog papira, namata se primarna zavojnica. Limove transformatorske jezgre treba slagati naizmjenice, bez raspora.

Izlazni transformator T_2 može se također namatati na transformatorsku jezgru tipa EI-36 s presjekom 1,4 do 1,7 cm². On mora imati



Sl. 13-9. Izgled tranzistorskog niskofrekventnog pojačala, koje služi kao modulator odašiljača za 144 MHz

poseban namotaj za modulaciju. Namatati ga treba ovako:

Primarno:

2×235 zavoja, žica 0,2 mm, CuL;

Sekundarno:

za zvučnik: 60 zavoja, žica 0,25 mm, CuL;

za modulaciju: 470 zavoja, žica 0,18 mm, CuL.

Primarnu stranu modulacijskog transformatora, T_2 , treba motati odmah sa dvije žice, bifilarno. Krajeve tih žica treba spojiti prema sl. 13-7, da se dobije tačna sredina potpuno simetričnog namotaja.

Jedan kraj modulacijskog namotaja je uzemljen, tj. spojen s pozitivnim polom izvora pogonskog napona. Njegov drugi kraj, označen kao »+M«, spaja se sa jednako označenom priključnicom predajnika (sl. 13-5 i 13-6).

Priključnica koja je na modulatoru označena sa »-9 V« spaja se s prijemnikom. Na taj način se za prijemnik postiže filtrirani pogonski napon, neovisan o promjenama struje u modulatoru, ako modulator koristimo i kao niskofrekventno pojačalo za vrijeme prijema.

Obzirom na to da se napon baterije vremenom smanjuje, treba predajnikove titrajne krugove ugoditi kod nešto manjeg pogonskog napona. Umjesto kod 13,5 V, recimo, kod 10,5 V. Osim toga za vrijeme ugađanja izlaznog stupnja predajnika, tj. njegovog pobudnog i izlaznog titrajnog kruga, neka i modulator bude uključen. To ćemo načiniti tako, da na ulaz modulatora dovedemo sinusoidalnu, ne prejak, signal od 1000 Hz tako da predajnik bude moduliran. Pri tome treba antenski izlaz predajnika opteretiti *neinduktivnim* otpornikom od 50 ili 60 Ω . Ugađanjem predajnika treba postići maksimalni otklon kazaljke mjernog instrumenta, priključenog na opisani način kod »-I«. Kad prekinemo modulaciju mora se otklon kazaljke malo smanjiti. Ako smo pažljivi moći ćemo

primjetiti da je ugađanje pobudnog titrajnog kruga kritičnije nego ugađanje izlaznog filtera. Također je kritičnije ugađanje titrajnog kruga overtorskog oscilatora nego udvostručivača frekvencije. Overtorski oscilator se obično neće smjeti dovesti na maksimum, već malo pokraj toga, ako želimo da nam oscilacije odmah »uskoče« čim priključimo bateriju.

Kod prototipa, koji je izgradio YU2BR, bila je izmjerena izlazna VF snaga oko 200 mW, uz pogonski napon od 12 V. Kolektorska struja izlaznog tranzistora u predajniku bila je oko 30 mA. Ukupni potrošak modulatora i predajnika bio je oko 60 mA dok se nije govorilo u mikrofona. Za vrijeme govora struja je povremeno narasla na 120 do 180 mA, prema glasnoći govora.

Podaci o zavojnicama za ovaj predajnik su na tablici 13-2.

Mnogo ih je koji ne vole motati transformatore. Za njihove eksperimente može poslužiti shema na sl. 13-10. Ovo je primjer *amplitudne modulacije kolektorske struje*.

Kolektorska struja protiče najprije kroz tranzistor TR_1 a onda još kroz tranzistor TR_2 . Na taj način se postiže da amplituda oscilacija, koje idu u antenu, bude ovisna o jakosti struje, upravljane modulatorom.

Modulator je razmjerno jednostavan. Dinamički mikrofona M_1 je priključen na ulaz modulatora, gdje se potencijetrom P_1 može regulirati stupanj modulacije. Tranzistori TR_1 i TR_2 su u pretpojačalu. Drugi stupanj pretpojačala je u galvan-skoj vezi s modulatorskim stupnjem. Ako je preklopnik Pr u nartanom položaju, modulacijski niskofrekventni naponi prenose se na bazu tranzistora TR_2 . Njegovu mirnu struju treba, potencijetrom P_2 , odabrati tako da napon, mjeren na emiteru tranzistora TR_2 bude oko 7 V, uz pogonski napon oko 13 V (tri plosnate džepne baterije).

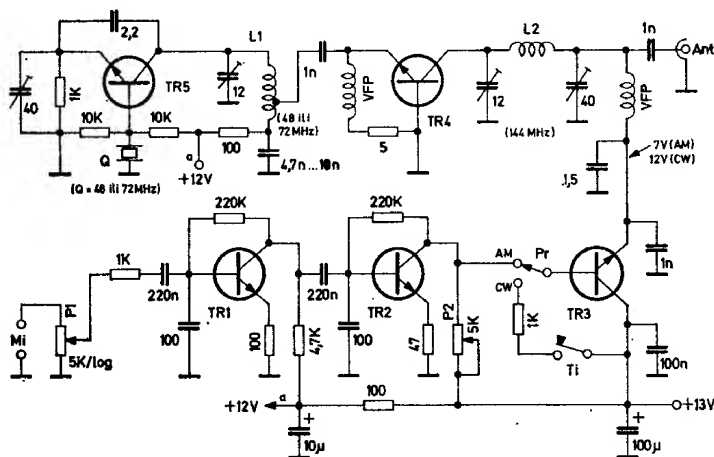
Tablica 13-2. Zavojnice za tranzistorski UKV predajnik (sl. 13-5)

Oznaka	Broj zavoja	Debljina i vrsta žice	Napomena
L_1	25	0,4 mm; CuL	na tijelu promjera 5 mm,*)
L_2	4,5	0,5 mm; CuPVC	preko hladnog kraja zavojnice L_1
L_3	7	0,4 mm; CuL	na tijelu promjera 5 mm,*)
L_4	3	0,5 mm; CuPVC	preko zavojnice L_3
L_5	3,5	1 mm; CuAg ili CuL	bez tijela, unutrašnji promjer 8 mm, dužina 22 mm, odvojak kod 2,5 zavoja
L_6	3	1 mm; CuAg ili CuL	bez tijela, unutrašnji promjer 10 mm, dužina 13 mm

*) Sa UKV jezgriцом za ugađanje, promjera 3,5 mm.

U oscilatorskom stupnju je tranzistor TR_5 . Kvarcov kristal koji se tu nalazi mora biti brušen za overtonsku frekvenciju oko 48 MHz. Njegova se frekvencija odabire tako da mu serijska resonancija odgovara trećini izlazne frekvencije predajnika. Titrajni krug sa zavoj-

nicom L_1 mora se ugoditi tako da se oscilacije na toj frekvenciji lako i stabilno pobuđuju, čim se priključi napon napajanja. Stupanj povratne veze u oscilatoru može se regulirati trimenom od 40 pF, spojenom paralelno sa emitorskim otpornikom.



Sl. 13-10. Shema dvometarskog predajnika s modulatorom kolektorske struje. Tranzistori mogu biti: $TR_1 = BC 107$; $TR_2 = TR_3 = BC 141-10$, 2N2219 ili 2N2222; $TR_4 = TR_5 = BFJ 17$, 2N2219, 2N4427 ili 2N3866. Ostalo u tekstu

Na odvojak zavojnice L_1 , otprilike kod $1/4$ ukupnog broja njenih zavoja (*odrediti dip-metrom!*), kapacitivnim se putem uzima pobuda za izlazni tranzistor TR_1 . Ovaj ujedno služi kao utrostručivač frekvencije. Na izlazu je filter sa zavojnicom L_2 , ugođen na resonanciju u dvometarskom opsegu tako da izlazna snaga (u opterećeni otpornik od 50Ω !) bude maksimalna. Taj

maksimum je najbolje postići uz položaj preklopnika Pr za telegrafiju (CW) i zatvoreno telegrafsko tipkalo Ti .

Kad je kompletan predajnik ugođen, može se Pr prebaciti u položaj AM . Izlazna snaga padne. Sada treba pažljivo pronaći položaje potencijometara P_1 i P_2 u kojima će modulacija biti dovoljno snažna, ali *bez izobličenja* (i *bez BCI i TVI!*).

SSB TELEFONIJA

PRINCIP TELEFONIJE S JEDNIM BOČNIM POJASOM (SSB)

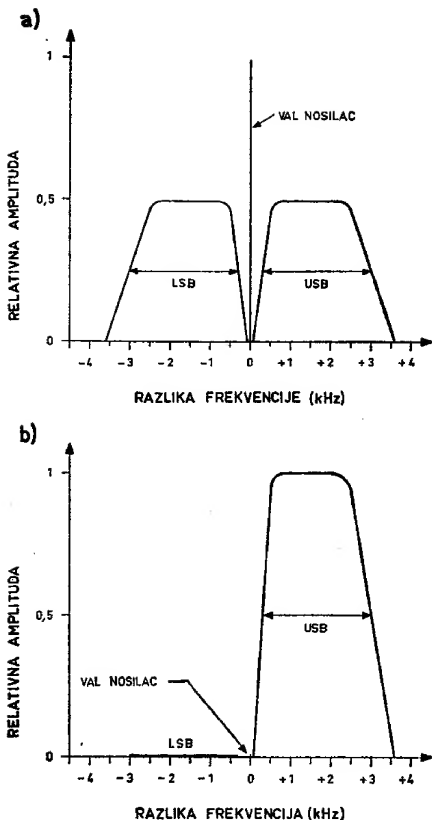
Oznaka »SSB« nastala je skraćenjem tačnije oznake »SSBSC« koja dolazi od engleskog naziva »single sideband, suppressed carrier«, što znači »jedan bočni pojas uz potisnut val nosilac« ili, kraće, »jedan bočni pojas«. Znamo da se kod tzv. amplitudne modulacije pojavljuju iznad i ispod frekvencije vala nosioca nove frekvencije. Ove se od frekvencije vala nosioca razlikuju za iznos modulacijske frekvencije. Ako je, npr, val nosilac koji ima frekvenciju 3700 kHz moduliran sa 1000 Hz (=1 kHz), pojavit će se bočne frekvencije i to: gornja bočna frekvencija od 3701 kHz i donja bočna frekvencija od 3699 kHz. Pri tome se val nosilac ne mijenja. Njegova amplituda ostaje nepromijenjena. Amplituda bočnih frekvencija doseže, kod 100-procentne modulacije, samo polovinu amplitude vala nosioca.

Kod telefonije događa se slično. S obje strane vala nosioca pojavljuju se mnoge bočne frekvencije koje formiraju gornji bočni pojas u kojem su frekvencije »iznad« vala nosioca (USB, od engl. »upper sideband«) i donji bočni pojas koji sadrži frekvencije »ispod« vala nosioca (LSB, od engl. »lower sideband«). Amplituda nijedne od frekvencija, koje sadrži bilo koji bočni pojas, ne prelazi ni kod 100-procentne modulacije polovinu amplitude vala nosioca, kako je to crtežom prikazano na sl. 14-1a. Patentirajući svoj prvi sistem telefonije s jednim bočnim pojasom Carson je još 1923. godine dokazao da je val nosilac u

predajniku potreban samo za dobivanje bočnih pojasa, da sam val nosilac ne prenosi ništa jer je sav »sadržaj poruke«, tzv. »informacija«, u bočnim pojasima i, konačno, da svaki od bočnih pojasa sadrži sasvim jednaku »informaciju«. Zato je Carson predložio da se za prenošenje telefonije visokim frekvencijama iskoristi *samo jedan bočni pojas*. Ovo je bilo ubrzo primijenjeno kod tzv. komercijalnih radio-veza kao i kod visokofrekventne telefonije pomoću podzemnih i podmorskih kabela (od 1927. godine). Radio-amateri su ovu zanimljivu tehniku mogli u većoj mjeri primijeniti tek onda kad su se iza prošlog rata u vojnim viškovima pojavili kvarcovi kristali pogodni za gradnju tzv. SSB-generatora.

Ako se iz amplitudno moduliranog signala najprije ukloni val nosilac i onda još filtriranjem odstrani jedan od dva bočna pojasa preostat će samo jedan bočni pojas, kao na sl. 14-1b. Ovdje su val nosilac i donji bočni pojas (LSB) toliko potisnuti da ih se udaljenim prijemnikom ne može zamijeniti. Za emisiju gornjeg bočnog pojasa (USB) može se iskoristiti puna snaga predajnika. Osim toga će SSB-signal zauzeti samo polovicu opsega frekvencija koje bi inače bile potrebne za prenos AM-signala.

Za prijem amplitudno moduliranog signala dovoljan je i najjednostavniji prijemnik, kristalni detektor, jer u njemu — kod demodulacije — val nosilac interferira s bočnim pojasima dajući one niske frekvencije s kojima je bila izvršena



Sl. 14-1. Odnosi vala nosioca i bočnih pojasa: a) kod amplitudne modulacije; b) kod telefonije pomoću jednog bočnog pojačala (SSB)

modulacija. Budući da kod SSB-telefonije nema vala nosioca, treba ga nadomjestiti nekom stalnom frekvencijom koja mora biti sa iste »strane« bočnog pojasa, tačno na istom mjestu gdje bi trebao biti val nosilac. Tada opet dolazi do demodulacije pa prenesena poruka postaje razumljiva. Ovu frekvenciju u prijemnicima za SSB daje onaj isti pomoćni oscilator (BFO) koji služi i za prijem telegrafije (CW). Za ovu svrhu amplituda oscilacija BFO-a redovito mora biti veća nego za prijem telegrafije. Glas operatora stanice koju upravo primamo zvučati će

»prirodno« samo onda ako je frekvencija BFO-a tačno odabrana. Ako to nije, onda će telefonija zvučati kao da govori »Paja Patak«. Demodulacija SSB-signalâ postiže se naim interferencijom oscilacija koje daje BFO sa primljenim frekvencijama SSB-signalâ. Rezultirajuće niske frekvencije ovise, slično kao kod telegrafije, o udaljenosti i o položaju frekvencije BFO-a od cijelog »snopa« frekvencija koje donosi SSB-signal.

Velike prednosti SSB-telefonije mogu se lako uočiti ako AM-predajnik uporedimo s nekim davačem za SSB uz pretpostavku da oba u svojim izlaznim stupnjevima imaju istu cijev, npr., amaterima dobro poznatu 6146 (=QE05/40).

Uz anodni napon od 600 V i anodnu struju oko 110 mA INPUT iznosi oko 66 W. Uz iskorištenje koje kod ove cijevi iznosi oko 76%, može se postići izlazna snaga vala nosioca (OUTPUT) oko 50 W. Oba bočna pojasa mogu kod amplitudne modulacije imati najviše 25 W snage ili 12,5 W za pojedini bočni pojas. Pri tome čitav AM-signal zauzima ukupno 6 ili više kHz. Anodni napon na momente (u vrhovima modulacije) dosiže dvostruku vrijednost (1200 V).

Za emisiju SSB-signalâ možemo na istu cijev odmah staviti anodni napon od 1200 V. Nema trajnog trošenja jake anodne struje jer nema vala nosioca. Cijev je samo onda potpuno opterećena dok se govori. Izlazna snaga tada može doseći 200 W za jedan bočni pojas. Ako se modulacijske frekvencije ograniče, što je redovito kod SSB telefonije, na 300 do 3000 Hz, kompletan će signal zauzeti širinu od ukupno 2,7 kHz.

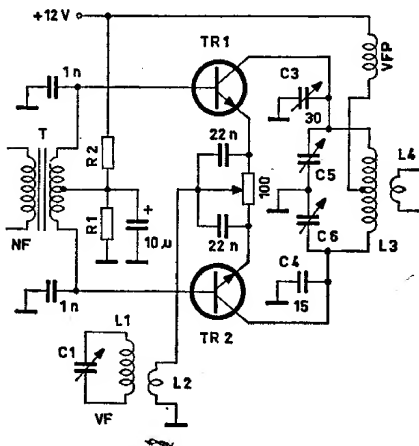
Ovim prednostima možemo dodati i odsutnost vala nosioca koji često može prouzročiti nepodnošljive smetnje, osobito ako velik broj stanica radi na bližim frekvencijama. Tada različiti nosioci mogu međusobnom interferencijom u prijemniku proizvesti takvo zviždanje da svaki rad bude onemogućen. Tih pojava kod SSB signalâ nema.

ostaje potisnut. Resonancija se postiže ugađanjem izlaznog titrajnog kruga dvostrukim promjenljivim kondenzatorom C_4/C_5 tako da, u prisutnosti niske frekvencije, izlazni VF napon koji potječe od bočnih frekvencija bude maksimalan. Bez niskofrekventne modulacije treba, ostavljajući C_4/C_5 na miru, diferencijalnim kondenzatorom CD smanjiti eventualnu prisutnost ostatka vala nosioca na minimum.

Tranzistorski DSB-generator

Tranzistorski DSB-generator je moguće sagraditi na mnogo načina. Jednu od mogućnosti vidimo na sl. 143.

Dva tranzistora, TR_1 i TR_2 , istoga tipa i jednakog strujnog pojačanja, primaju na svoje baze niskofrekventni, modulacijski signal. Transformator T odgovara onima za pobuđivanje izlaznog stupnja u niskofrekventnim tranzistorskim pojačalima. Visokofrekventna »injekcija« se dovodi istom fazom na oba emitera. Potenciometar od $100\ \Omega$ služi simetriziranju struja koje teku kroz tranzistore. Titrajni krug L_1C_1 pripada oscilatoru velike stabilnosti iz



Sl. 143. Tranzistorski DSB-generator (balans-modulator)

kojega se preko zavojnice L_2 crpe potrebna visokofrekventna struja.

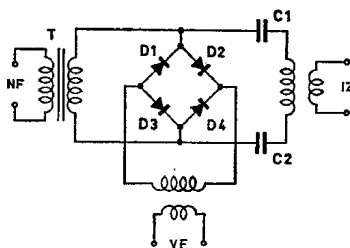
Izlazni titrajni krug ima zavojnicu L_3 i dvostruki promjenljivi kondenzator C_5/C_6 . Dodatni kondenzatori C_3 i C_4 služe postizavanju što tačnije kapacitivne simetrije na izlazu. Maksimalno potiskivanje vala nosioca postiže se ugađanjem kondenzatora C_3 . Preko L_4 može se dobiti DSB-signal odvesti dalje.

Diodni balans-modulatori

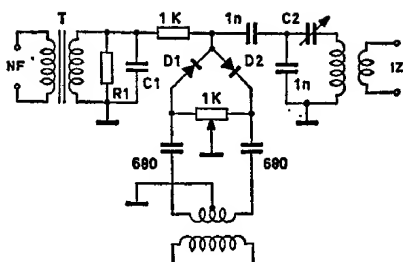
Diodnih balans-modulatora ima mnogo vrsta, ali svi potječu na neki način od onoga koji već odavno pouzdano radi u različitim primjenama visokofrekventne telefonije. To su četiri diode (sl. 144) na koje se dovodi i visokofrekventni (VF) i niskofrekventni (NF) napon. Na izlazu nema vala nosioca, preostaju samo oba bočna pojasa. Za razliku od ranije opisanih sklopova svi balans-modulatori s diodama imaju znatno niže impedancije i zahtjevaju posebna prilagođenja.

Balans-modulator, ili DSB-generator, s dvije diode i prilagođenjem pomoću transformatora moguće je načiniti na dva načina. Prvi od njih je prikazan na sl. 145. Kod NF se uvodi niskofrekventni, a kod VF visokofrekventni signal. Izlazni titrajni krug je kapacitivnim putem vezan na diodni sklop, i to paralelno s njime.

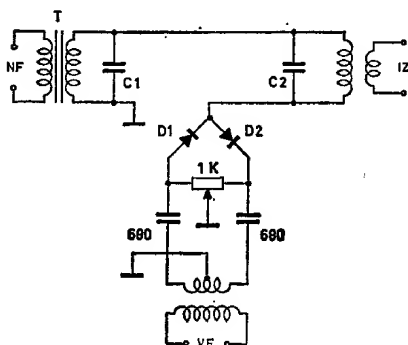
Izlazni titrajni krug se može spojiti i u seriji s diodnim sklo-



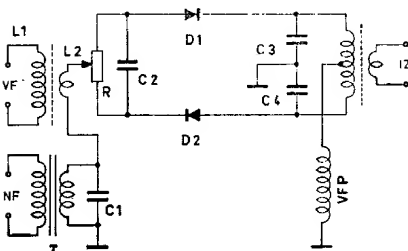
Sl. 144. DSB-generator sa četiri kristalne diode



Sl. 14-5. Potiskivanje vala nosioca s dvije diode, tzv. paralelni sklop



Sl. 14-6. Potiskivanje vala nosioca s dvije diode, tzv. serijski sklop



Sl. 14-7. Jednostavan balans-modulator s dvije kristalne diode

pom i sekundarnom stranom niskofrekventnog transformatora T , kako je nacrtano na sl. 14-6. Kondenzator C_1 mora pri tome nesmetano propustiti visokofrekventne struje. Njegov kapacitet je zbog toga 330 do 1000 pF.

Kako ćemo kasnije vidjeti, kod tzv. »faznog« načina za dobivanje SSB-signala potrebna su dva jednaka balans-modulatora. Opisane DSB modulatore s diodama nije moguće dovoljno spretno upotrebiti za ovakvu svrhu. Mnogo su pogodniji diodni generatori DSB-signala, prema sl. 14-7. Upotrebene su dvije kristalne, germanijeve diode, D_1 i D_2 .

Niskofrekventni transformator T služi za prilagođenje. Paralelno s njegovom sekundarnom stranom se nalazi kondenzator C_1 (330 do 1000 pF) kojemu je zadaća da nesmetano propusti visokofrekventne struje. Niskofrekventne struje prolaze prema diodnom sklopu kroz sekundarnu stranu (L_2) visokofrekventnog transformatora L_1/L_2 . Izlazni titrajni krug ima dva jednaka kondenzatora C_3 i C_4 , pomoću kojih se na radnoj frekvenciji postiže resonancija i istovremeno simetričnost.

Transformator T redovito ima prenos od 1 : 8 do 1 : 12 kod uređaja s elektronskim cijevima. U tranzistorskim uređajima taj prenos iznosi oko 1 : 4. Zavojnica L_2 ima obično 3 do 4 zavoja i smještena je uz hladni kraj zavojnice L_1 . Visokofrekventni napon na L_2 neka bude između 3 i 4 V. Germanijeve diode D_1 i D_2 moraju imati podjednaka svojstva. Osobito je važno da se jednako ponašaju u *propusnom* smjeru. U *zapornom* smjeru neka diode propuštaju što manju struju, ali potpuna jednakost u tome nije neophodna zbog niske impedancije cijelog sklopa.

DSB-generatori, koje smo opisali, po svojim svojstvima odgovaraju *mikserima* kod kojih je potisnuta oscilatorska frekvencija s time, da jedna od frekvencija koje se miješaju ima nisku, zvučnu frekvenciju. Zbog toga se za DSB modulatore s potiskivanjem vala nosioca mogu upotrebiti i sve vrste *dvostruko balansiranih miksera* (DBM) koje smo već upoznali (str. 188).

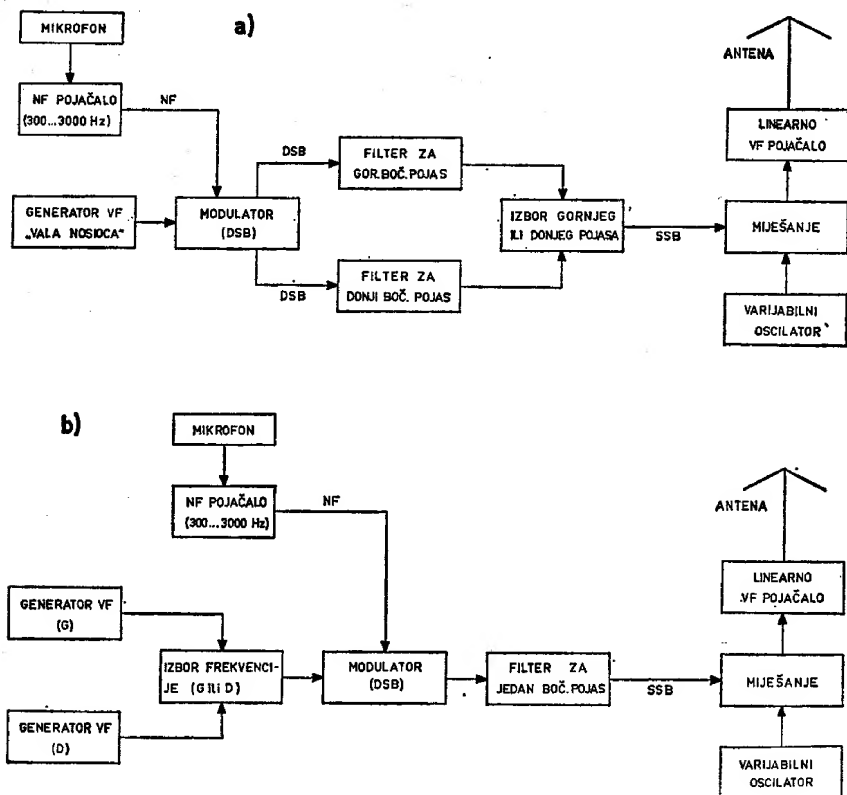
SSB GENERATORI

Pretvaranje DSB-signala u SSB pomoću filtera

U svakom SSB-generatoru mora se najprije odstraniti val nosilac. Zatim treba na neki način odstraniti i jedan od bočnih pojasa. U SSB generatorima »filterskog tipa« to se postiže vrlo velikom selektivnošću pojačala koje slijedi iza balans-modulatora, kako je to prikazano na blok-shemama (sl. 14-8).

Na blok-shemi (sl. 14-8a), vidi-mo da je mikrofون priključen na

niskofrekventno pojačalo koje ograničuje opseg zvučnih frekvencija tako da se pojačaju samo one koje nisu niže od 300 ili više od 3000 Hz. Generator VF vala nosioca je oscilator velike stabilnosti. Njegove se oscilacije odvođe u DSB-modulator. Ovdje se val nosilac potisne. Dobi-veni DSB-signal vodi se dalje ili kroz filter koji propušta samo gor-nji ili kroz filter koji propušta sa-mo donji bočni pojas. Redovito se može po volji odabirati ili jedan ili drugi signal. U njemu nema ni vala nosioca ni drugog, potisnutog boč-nog pojasa. Preostaje samo jedan jedini bočni pojas, tj. SSB (engl.



Sl. 14-8. Blok-shema SSB predajnika prema filterskom principu: a) s jednim generatorom vala nosioca i s dva filtera, za svaki bočni pojas posebno; b) s dva generatora vala nosioca i s jednim filterom za potiskivanje neželjenog bočnog pojasa

»single sideband«, čit. »singl-sajd-bend«).

U pravilu se SSB-signal proizvodi na onoj frekvenciji za koju postoje pogodni filteri. Ranije je to bilo oko 50 kHz sa filterima koji su se sastojali od posebno kombiniranih titrajnih krugova (bandfiltera). Današnji SSB-generatori služe se valom nosiocem kojemu je frekvencija između 300 i 500 kHz, ili znatno viša, npr. oko 9 MHz. Da se »dode« na radnu frekvenciju unutar nekog od amaterskih kratkovalnih opsega, potrebno je SSB-signal odvesti u neki stupanj za miješanje. Tu će se SSB-signal »prebaciti« na bilo koju frekvenciju zahvaljujući posebnom varijabilnom oscilatoru. SSB-signalima se naime ne može povećati frekvencija običnim umnažanjem jer se on ne sastoji od jedne, već od cijelog snopa frekvencija koje su u takvom međusobnom odnosu kakav odgovara modulaciji. Umnažanjem frekvencije bi se ovi odnosi toliko poremetili da bi signal postao nerazumljiv. Promjena frekvencije SSB-signala transpozicijom, dakle pomoću VFO-a i stupnja za miješanje, ostavlja odnose unutar samog SSB-signala netaknutim i razumljivost nije promijenjena.

Daljnje pojačanje signala postiže se u tzv. linearnim pojačalima koja moraju raditi u klasi A, AB ili B. U takvim pojačalima postoji proporcionalnost između ulaznog i izlaznog VF signala. Ako se ulaznom signalu amplituda podvostruči, bit će izlazni signal također dvostruke amplitude itd. Tako se i amplitudni odnosi između pojedinih komponenata SSB-signala neće promijeniti.

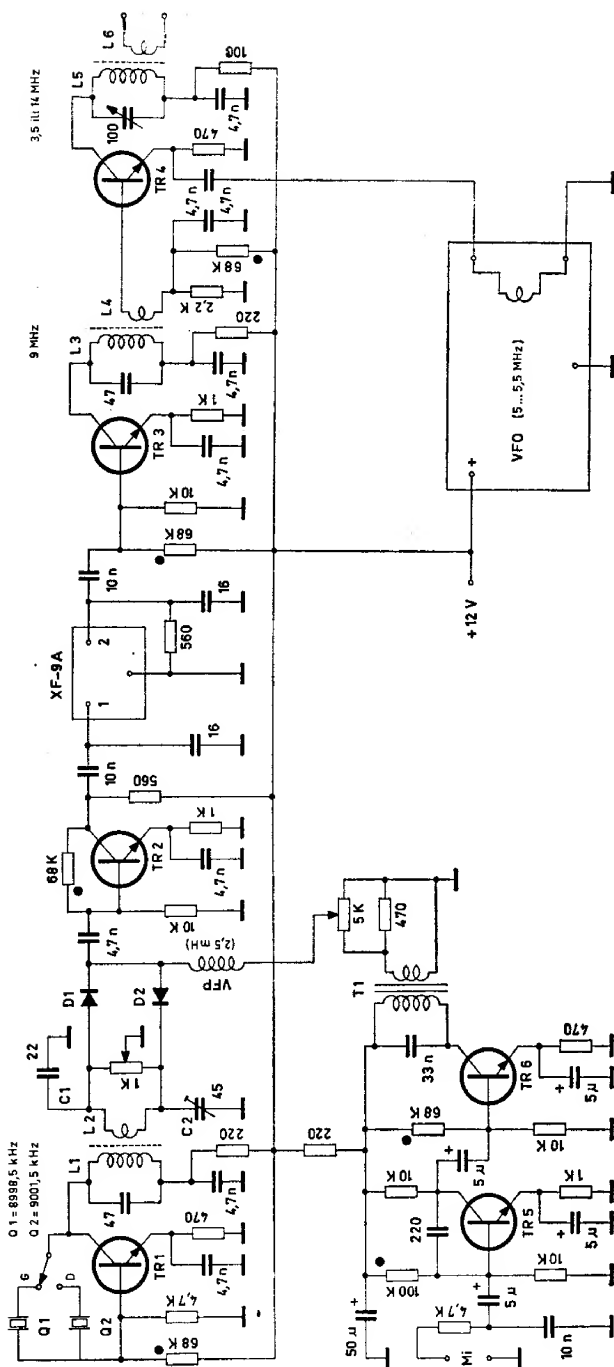
Dva filtera, jedan za izdvajanje gornjeg, a drugi za izdvajanje donjeg bočnog pojasa, skuplji su od dva oscilatora za val nosilac. Blok-shema na sl. 14-8b pokazuje način kako se može sagraditi jednako dobar SSB-predajnik na jeftiniji način. Tu su dva VF oscilatora koji služe kao generatori vala nosioca.

Moguće je odabrati ili frekvenciju jednoga ili frekvenciju drugoga od njih. Jedan oscilira »ispod« a drugi »iznad« opsega SSB-filtera. Zato će od dva bočna pojasa koji nastaju u modulatoru, kroz filter u prvom slučaju proći samo gornji (USB), a u drugom slučaju samo donji bočni pojas (LSB). Ostali dijelovi SSB-predajnika ostaju itisi kao i na pređašnjoj blok-shemi.

Tranzistorski SSB-generator koji odgovara blok-shemi na sl. 14-8b možemo sagraditi prema sl. 14-9. On sadrži ukupno šest tranzistora tipa N-P-N. Oni svi mogu biti siličijevi planarni tranzistori.

Prvi tranzistor, TR_1 , služi kao oscilator. Pomoću kvarcovog kristala Q_1 (8998,5 kHz) on proizvodi val nosilac kojim će se dobiti gornji bočni pojas (G). Ako ovaj kristal preklopnikom zamijenimo s drugim, Q_2 (9001,5 kHz), moći ćemo dobiti donji bočni pojas (D). Pri tome induktivitet zavojnice L_1 treba ugoditi tako da kolektorski titrajni krug prvog tranzistora resonira blizu 9 MHz. Na taj se način može postići da oba kristala jednako dobro osciliraju. Zavojnice L_1 i L_2 nalaze se u zajedničkom oklopnom loncu. One mogu pripadati normalnom međufrekventnom transformatoru za 10,7 MHz, kakav se može naći u malim tranzistorskim prijemnicima. Da se postigne resonancija na 9 MHz treba ugrađenom kondenzatoru izvana paralelno dodati još neki kondenzator. Njegov kapacitet treba odrediti pokusom.

Diode D_1 i D_2 pripadaju jednostavnom balans-modulatoru za potiskivanje vala nosioca i dobivanje DSB-signala. Ovaj se stupanj simetrizira potencijetrom od 1 k Ω i trimerskim kondenzatorom C_2 . Razumije se da i same diode moraju biti što sličnijih svojstava. Nisko-frekventni se napon »dozira« potencijetrom od 5 k Ω koji je spojen na sekundarnu stranu transformatora T_1 . Ovo je mali pobudni nisko-frekventni transformator sa omjerom transformacije oko 4 : 1. Poka-



ju od 9 MHz i treba ga dovesti u jedno od amaterskih kratkovalnih područja, predviđenih za veze telefonijom. Tome služi tranzistor TR_1 u kojemu se SSB-signal miješa sa oscilacijama iz nekog VFO-a. Ako su njegove frekvencije između 5 i 5,5 MHz, mogu se — po želji — dobiti izlazne frekvencije bilo u opsegu od 3,5 do 4 MHz, bilo u opsegu od 14,0 do 14,5 MHz. Izlazni titrajni krug, u kojemu je zavojnica L_5 , treba se samo promjenljivim kondenzatorom ugoditi ili na jedan ili na drugi od ova dva opsega. Preko zavojnice L_5 vodi se onda SSB-signal na daljnje stupnjeve za linearno pojačanje.

Shemu odgovarajućeg oscilatora promjenljive frekvencije (VFO) donijeli smo u poglavlju o visokofrekventnim oscilatorima.

U nekim tvorničkim SSB-predajnicima i primopredajnicima se mogu naći tzv. mehanički filteri. Izrađuje ih tvornica »Collins«, a građeni su za različite frekvencije i različite širine propusnih područja. Najpoznatiji su oni za frekvencije oko 455 ili oko 500 kHz koji za SSB imaju propusno područje široko 2,1 ili 3,1 kHz uz vrlo dobro potiskivanje neželjenog bočnog pojasa. Na sl. 14-10 mehanički filter je spojen između dva tranzistora.

Obzirom na razmjerno visoku cijenu mehaničkih filtera amater će upotrijebiti samo jedan. Tada se, dakako, uz filter mora raspolagati s dva kvarcova kristala za generator vala nosioca koji moraju imati određene frekvencije za jedan i drugi bočni pojas. Glavni stupnjevi takvog SSB-generatora su prikazani na sl. 14-11.

Tranzistor TR_1 , na toj slici, je u niskofrekventnom pojačalu iz kojega se pojačane audiofrekventne struje vode u poseban sklop od četiri diode, D_1 , D_2 , D_3 i D_4 . Kako se vidi, ove diode su tako orijentirane da čine zatvoren krug ili prsten. Otuda takvom sklopu ime: »prstenasti« ili »ringmodulator«. Simetrianje i maksimalno potiskivanje

vala nosioca postiže se potenciometrom od 100 Ω i trimerskim kondenzatorom od 50 pF. Tranzistor TR_2 služi kao oscilator kojemu je frekvencija određena ili s kvarcovim kristalom Q_1 ili sa Q_2 . Dobiveni DSB-signal filtrira se u mehaničkom filteru F i dalje pojačava tranzistorom TR_3 . Ako srednja frekvencija filtera iznosi 455 kHz, kristal Q_1 mora biti brušen za frekvenciju od 453,65 kHz, a kristal Q_2 za frekvenciju od 456,35 kHz.

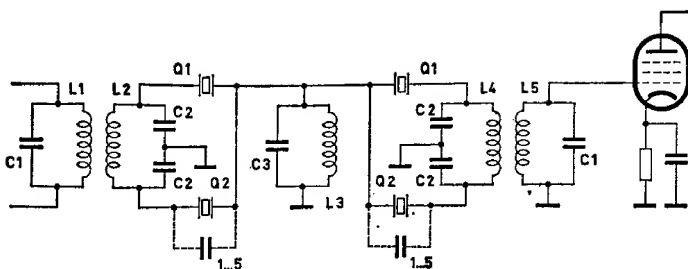
Izlazni SSB-signal ima srednju frekvenciju koja je jednaka srednjoj frekvenciji filtera F , tj. 455 kHz. Treba ga miješanjem transponirati u željeni amaterski opseg, na radnu frekvenciju predajnika. Da se to postigne bit će potrebno, osobito za rad na višim opsezima, da se signal i više nego jedanput transponira: možda najprije u opseg od 3,5 MHz, a odavde onda dalje u ostale opsege. Za svaku transpoziciju je, razumije se, potreban oscilator određene frekvencije i poseban stupanj za miješanje.

Kristalni filteri za samogradnju

U poglavlju o prijemnicima pokazali smo kako se mogu kvarcovi kristalni filteri načiniti na razmjerno jednostavan način. Filter koji ima dva kristala u držaču »FT-241-A«, prema tamošnjoj sl. 9-32b, mogao bi poslužiti i u SSB generatorima. Ovakvome filteru odgovara prvi dio sheme na sl. 14-12.

Zavojnice L_1 i L_2 pripadaju međufrekventnom bandfilteru koji resonira s kapacitetima kondenzatora C_1 i serijom kondenzatora C_2 . Ako su zavojnice L_1 i L_2 jednake, kondenzatori C_2 moraju imati dvostruki iznos kapaciteta kondenzatora C_1 .

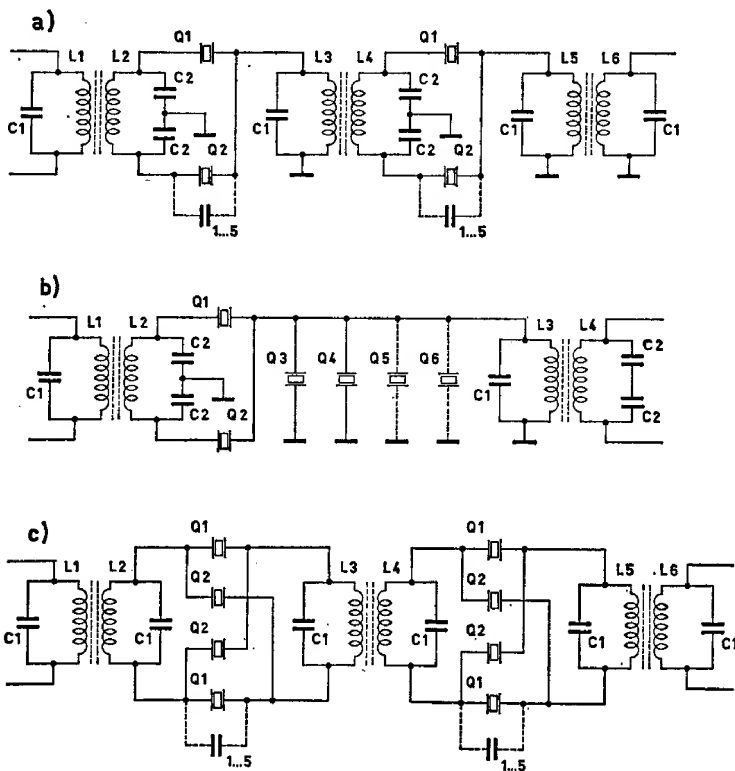
Kvarcovi kristali Q_1 i Q_2 neka imaju frekvencije koje se međusobno razlikuju za 1,4 do 1,8 kHz. Ako su to kristali iz nekadašnjih vojnih viškova, u držaču tipa »FT-241-A«, možemo njihove frekvencije izabrati prema uputama na str. 198. Razumije se da onda svi titraj-



Sl. 14-12. Kvarcov kristalni filter za SSB sa četiri kristala tipa »FT-241-A« ili sličnima

ni krugovi u filteru moraju resonirati na frekvencije odabranih kristala.

Ako na desnoj strani od titrajnog kruga L_5C_1 (sl. 14-12) dodamo sve što se nalazi na lijevoj, dobit



Sl. 14-13. Selektivni filteri s kvarcovim kristalima: a) sa četiri kristala u dva filterska stupnja; b) sa četiri do šest kristala u jednom filterskom stupnju; c) sa ukupno osam kristala u dva filterska stupnja

ćemo kristalni filter vrlo dobrih svojstava. Propusni opseg, ovisan o izboru frekvencija kristala, iznosi 2 do 3,5 kHz uz veliku strminu bokova krivulje resonancije, ukoliko su svi titrajni krugovi ugođeni »na maksimum«.

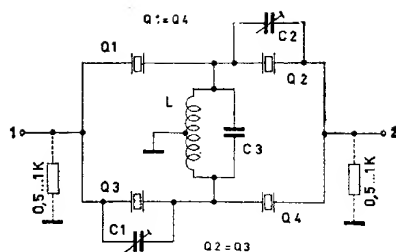
Drugačiji filter s četiri kvarcova kristala vidimo na sl. 14-13a. Dva i dva kristala imaju iste frekvencije. Kristali Q_1 imaju za 1,8 kHz nižu frekvenciju od kristala Q_2 . Paralelno s kristalima Q_2 može se dodati malen kapacitet, 1 do 5 pF, za povećanje strmine bokova krivulje resonancije. Bandfilteri sa zavojnicama L_1 i L_2 , L_3 i L_4 , kao i sa L_5 i L_6 moraju biti načinjeni tako da propuštaju iste frekvencije, kao i kristali. Ovisno o kvaliteti titrajnih krugova, propusni pojas filtera je 2,8 do 3,5 kHz. Uz kvalitetnije titrajne krugove filter je širi.

Primjer filtera na sl. 14-13b neće za većinu naših konstruktora biti dosežan, jer zahtjeva previše različitih kristala. Ipak ga donosimo s napomenom da kristali od Q_3 do Q_6 služe za potiskivanje frekvencija izvan propusnog pojasa koji je određen kristalima Q_1 i Q_2 . Frekvencije tih kristala mogu, prema W2CVI, biti sljedeće:

$Q_1=464,81$ kHz,	$Q_4=468,52$ kHz,
$Q_2=466,67$ kHz,	$Q_5=461,11$ kHz,
$Q_3=462,96$ kHz,	$Q_6=470,37$ kHz.

Umjesto ovih kristala mogli bi koristiti i drugi s takvim razlikama među frekvencijama.

Po dvije mreže s dva i dva jednaka kristala ima filter na sl. 14-13c. Kristali koji su označeni sa Q_1 razlikuju se od onih koji su označeni sa Q_2 za 1,8 kHz. Osim toga po dva kristala u istoj mreži od četiri, koji su jednako označeni smiju se po frekvenciji razlikovati najviše za 10 ili 20 Hz. To su vrlo veliki zahtjevi i zato je teško načiniti takav filter, jako mu je selektivnost vrlo dobra. Neke prednosti mogle bi se utvrditi samo mjernim instrumentima, pa će u praksi gotovo s jednakim us-



Sl. 14-14. Kvarcov filter za frekvencije oko 9 MHz sa četiri kristala

pjehom moći poslužiti i jednostavniji filteri.

Tko može nabaviti četiri kvarcova kristala koji svi imaju istu frekvenciju i koji su montirani u takvom držaču koji se može lako otvoriti, npr. »FT-243« ili slični, također može načiniti dobar filter i za međufrekvencije više od 3 MHz. Dva i dva kristala moraju imati sasvim jednake frekvencije (na 10 do 20 Hz). Razlika između dva para neka bude 1,6 do 2 kHz. Ovu razliku će se najverovatnije morati postići opreznim brušenjem same kristalne pločice. Ako je frekvencija kristala Q_1 jednaka frekvenciji kristala Q_4 (sl. 14-14) mora frekvencija kristala Q_2 biti jednaka frekvenciji kristala Q_3 . Titrajni krug LC_3 mora resonirati u istom području. Kondenzatori C_1 i C_2 su trimeri pomoću kojih se može, dodavajući nešto kapaciteta (2 do 6 pF) paralelno kristalima koji imaju višu frekvenciju, povećati strmina krivulje resonancije filtera. Ulazna i izlazna priključna impedancija moraju biti niske, između 0,5 i 1 kΩ.

Nekoliko shema i podaci za selektivne međufrekventne filtere s kristalima »FT-241«, kao i s kvarcovim kristalima, namijenjenim za CB-stanice (tzv. »građanski opseg«), mogu se naći i u poglavlju o primjercima (str. 197).

Primjer savremenog filterskog SSB generatora

Pri gradnji SSB-generatora imat ćemo najmanje brige oko ugađanja, ako upotrebimo gotov, tvornički kvarcov kristalni filter s pripadajućim kristalima za oscilator vala nosioca. Shema takvog uređaja je na sl. 14-15.

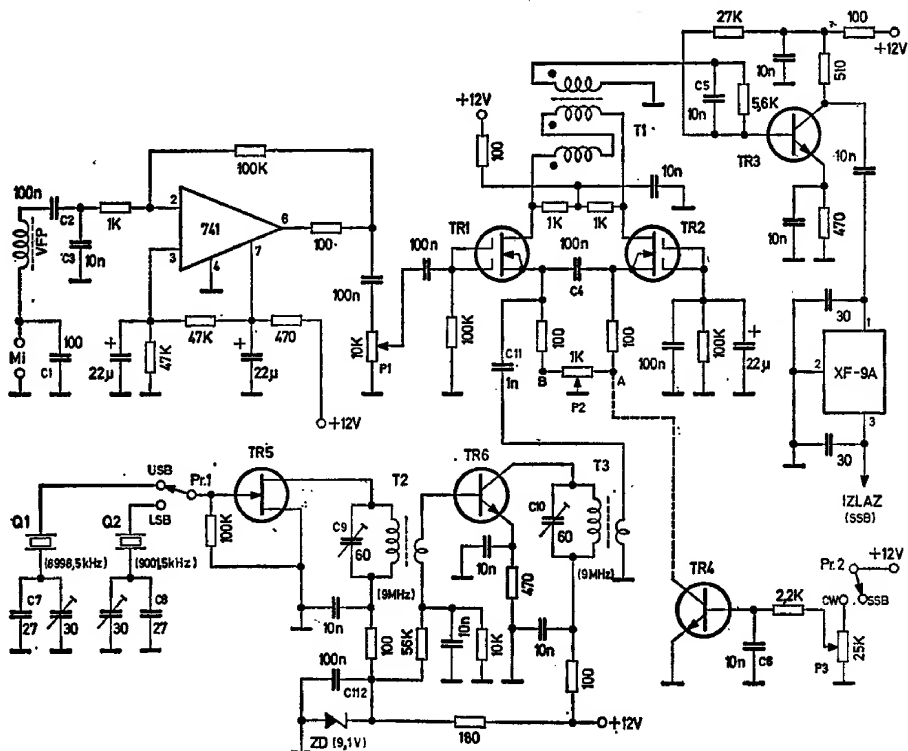
Kompletno niskofrekventno modulacijsko pojačalo izgrađeno je oko operacijskog pojačala tipa 741. Mikrofon *Mi* je premošten kondenzatorom C_1 koji, jednako kao prigušnica *VFP* i kondenzatori C_2 i C_3 , sprječava prodor visokih frekvencija u NF pojačalo. Na izlazu tog modulacijskog pojačala je potencijometar kojim se može regulirati intenzitet modulacije.

Tranzistori TR_1 i TR_2 , dva MOSFET-a (40673, 3N200 ili slični)

stavljjeni su u stupanj za miješanje, u tzv. *balans-modulator*. Tu se sastaju niske frekvencije iz modulatora sa visokom frekvencijom tzv. vala nosioca. Produkti miješanja sadržavaju *DSB-signal*, tj. signal u kojemu postoje dva bočna pojasa, dok je val nosilac potisnut.

Visokofrekventni transformator T_1 namotan je trifilarno. Tri, medusobno upredene tanke žice, zajedno su namotane na prstenastu feritnu jezgru. Ukupno je namotano 3×15 zavoja (ili 15 »trifilarnih« zavoja). Tačkicama su označeni krajevi žica na početku trifilarnog namotaja.

Tako dobiven DSB-signal pojača se tranzistorom TR_3 i onda šalje kroz kristalni filter (npr. »KVG-XF-9A«). On propusti *samo jedan bočni pojasi* i na njegovom se izlazu pojavljuje čist *SSB-signal*.



Sl. 14-15. Shema SSB-generatora, pogodnog za samogradnju. Opis u tekstu



Sl. 14-16. Izgled štampane pločice (9×9 cm) za gradnju SSB-generatora, prema shemi na sl. 14-15

Potenciometrom P_2 može se postići simetrija i dobro potiskivanje vala nosioca koji stiže iz oscilatora (TR_5 i TR_6). Prema tome koji kristal (Q_1 ili Q_2) odaberemo preklopnikom Pr_1 , dobijemo ili gornji (USB) ili donji bočni pojas (LSB).

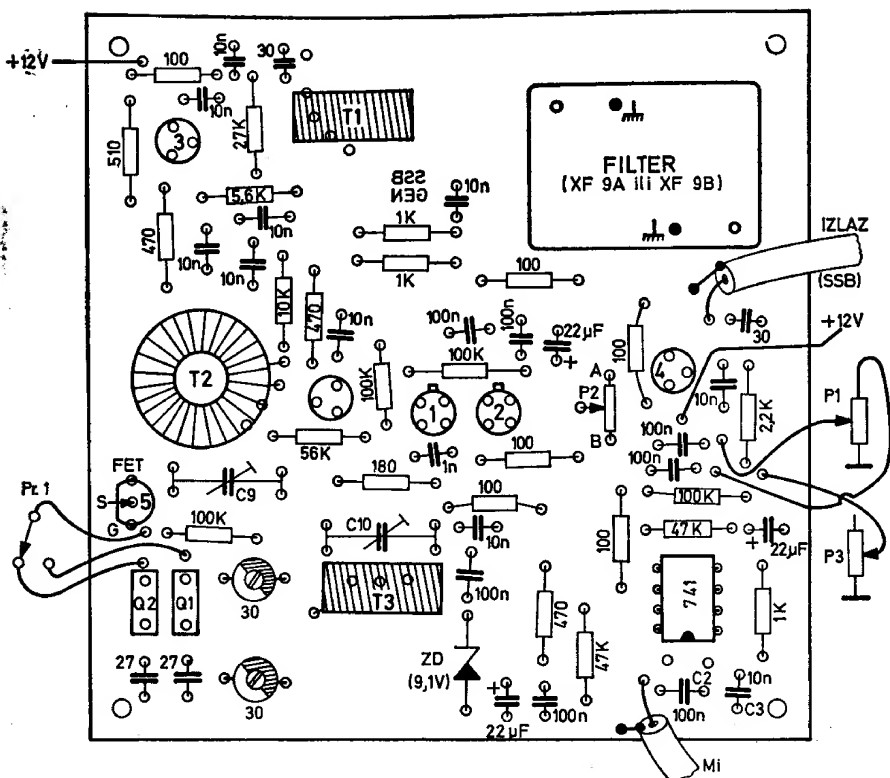
Tranzistor TR_4 se može dodati za vraćanje vala nosioca. Ako nema modulacije, a simetrija u stupnju sa TR_1 i TR_2 je pokvarena, na izlazu se pojavljuje val nosilac. Njegov intenzitet se jednostavno može regulirati potenciometrom P_3 kojim se tranzistor TR_4 više ili manje »otvori«. Njegov kolektor može biti priključen ili kod A ili kod B (na P_2). Što tranzistor jače propušta struju to će nesimetrija biti veća i val nosilac na izlazu jači. Budući da filter »XF-9A« prigušuje i frekvenciju vala nosioca, dobro je da se preklop-

niku Pr_1 predvidi i treći kontakt, da se uključi treći kvarcov kristal (nije nacrtano!) Q_3 . Njegova frekvencija bi trebala biti 9000 kHz. Tada bi, prekidajući rad tog kristalnog oscilatora, mogli raditi telegrafijom (CW).

Izgled štampane pločice i raspored sastavnih dijelova za ovaj SSB-generator vide se na sl. 14-16 i sl. 14-17.

SSB generatori faznog tipa

Sasvim je drugačiji princip na kojemu se osniva rad SSB-generatora tzv. »faznog tipa«. Kod ovih se iskorištavaju fazni odnosi između vala nosioca i oba bočna pojasa koji nastaju pri modulaciji.



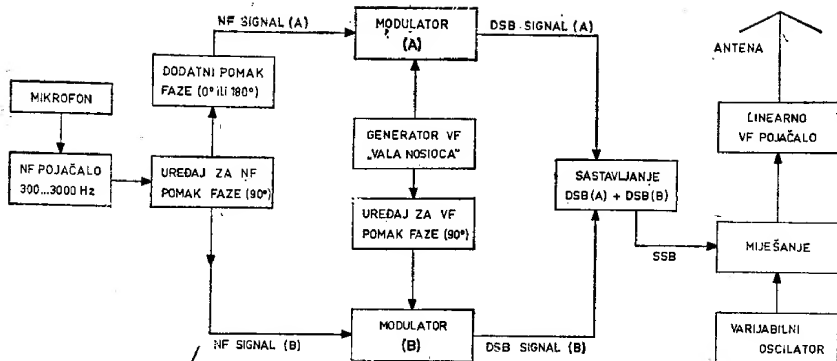
Sl. 14-17. Raspored sastavnih dijelova na pločici prema sl. 14-16. $T_1=15$ trifilarnih zavoja, upredena žica, 0,35 mm CuL, na feritnom prstenu $\varnothing=13$ mm ($\mu_r=125$); $T_2=10$ μ H. prim./sek=4:1; $T_3=10$ μ H. prim./sek=2:1. T_2 i T_3 na toroidima $\varnothing=13$ mm ($\mu_r=10$)

Kada se govori u mikrofoni, u njemu nastaju niskofrekventne (audiofrekventne) struje kojima se opseg ograniči između 300 i 3000 Hz (sl. 14-18). Dovoljno pojačan, niskofrekventni signal dijeli se u dva jednaka signala koji se jedan (A) od drugoga (B) razlikuju samo po fazi. Fazna razlika treba iznositi 90° .

Visokofrekventni oscilator koji služi kao generator vala nosioca može oscilirati na radnoj frekvenciji predajnika ili na nekoj drugoj, zgodno odabranoj frekvenciji. Njegov izlazni signal također se cijepa u dva dijela, u dva podjednaka vala

nosioca. I ovi se moraju međusobno razlikovati u fazi za 90° . Jedan od njih modulira se niskofrekventnim signalom A, a drugi niskofrekventnim signalom B, svaki u posebnom modulatoru. U modulatoru A, kao i u modulatoru B, potiskuju se valovi nosioci pa iz oba modulatora izlazi po jedan DSB-signal.

Sastavljanjem DSB-signala A i DSB-signala B oni se zbrajaju. O rezultatu takvog zbrajanja odlučuju i faze i amplitude, pa će se titraji koji su u oba signala sadržani u jednom bočnom pojasu međusobno pojačavati i, istovremeno, oni koji su u oba signala sadržani u



Sl. 14-18. Blok-shema SSB-predajnika prema faznom principu

drugom bočnom pojasu međusobno poništavati. Tako preostaje samo jedan bočni pojas, bilo gornji, bilo donji, ovisno o tome na koji su način bila dva visokofrekventna signala kombinirana s dva niskofrekventna signala. Uključivanjem dodatnog faznog pomaka (0° ili 180°) može se po volji odabrati ili jedan ili drugi bočni pojas.

Ukoliko SSB-signal nije bio proizveden na radnoj frekvenciji, treba ga na nju dovesti miješanjem s pogodno odabranom frekvencijom varijabilnog oscilatora (VFO) i onda mu linearnim pojačalima povećati snagu.

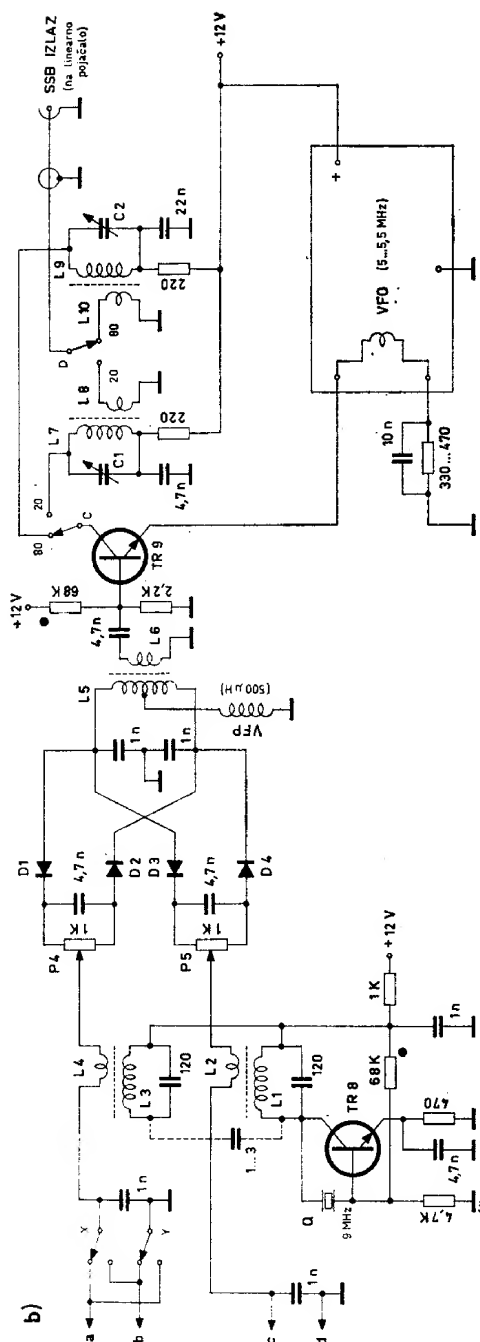
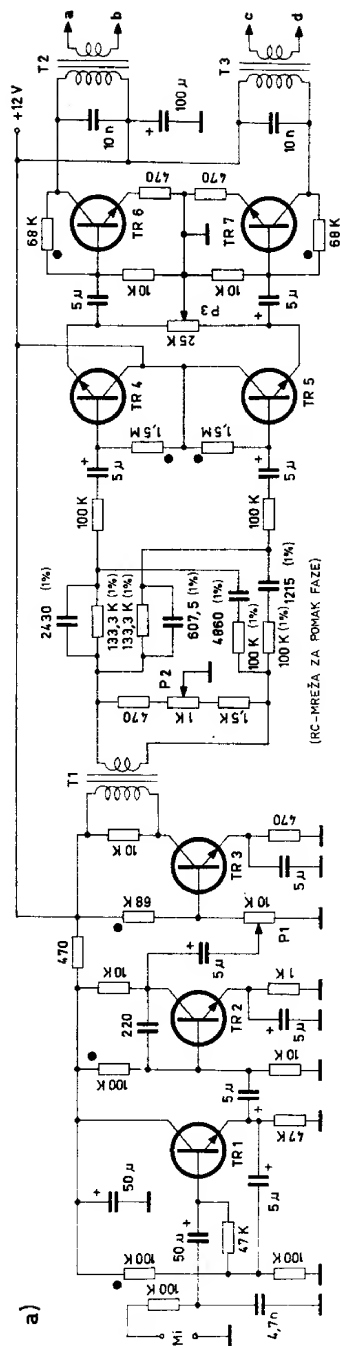
Primjer tranzistorskog faznog generatora SSB-signala prikazan je na shemi (sl. 14-19). Svi tranzistori su tipa N-P-N. Najbolje je da to budu moderni silicijevi planarni tranzistori, kako je to označeno uz shemu (sl. 14-19).

Kod M_i treba priključiti visokoomski mikrofoni, npr. kristalni. Ulaz niskofrekventnog pojačala s tranzistorom TR_1 , u spoju zajedničkog kolektora, je tome prilagođen. Ovdje vidimo i specijalnu povratnu vezu za podizanje ulazne impedancije (»bootstrapping«, vidi i sl. 7-4 u poglavlju o niskofrekventnim pojačalima. Potencijometar P_1 služi za regulaciju pojačanja. Transformator T_1 neka ima prenos na

niže, u omjeru 4:1 do 6:1. Može biti jedan od onih koji služe za pobuđivanje izlaznog stupnja malih tranzistorskih prijemnika. Vrlo dobar je pobudni niskofrekventni transformator iz bilo kojeg malog, prenosnog tranzistorskog prijemnika.

Na sekundarnu stranu transformatora T_1 je priključena RC-mreža za pomak faze. Ona odgovara američkoj, poznatoj faznoj mreži tipa »PS-1« kojoj je autor-konstruktor Dome. Kapaciteti i otpori moraju što tačnije imati one vrijednosti koje su označene na shemi. Treba ih birati i sastavljati uz pomoć dobrog mjernog mosta. Izlaz RC-mreže traži visokoomsko opterećenje pa su tranzistori TR_4 i TR_5 u spoju zajedničkog kolektora (»emitter follower«). Na njima se faze niskofrekventnih napona A i B razlikuju za 90° , ako su im frekvencije između 300 i 3000 Hz.

Iza tranzistora TR_4 slijedi TR_6 i transformator T_2 . Na jednak način slijedi iza TR_5 tranzistor TR_7 i transformator T_3 . Tako ima niskofrekventni signal A svoje, a signal B svoje posebno niskofrekventno pojačalo. Potencijometrima P_2 i P_3 može se postići da izlazni naponi na a/b i na c/d budu iste veličine. Transformatori T_2 i T_3 neka budu iste vrste kao T_1 .



Sl. 14-19. Tranzistorski »fazni« generator SSB-signala. Tranzistori od TR_1 do TR_8 mogu biti BC107; $TR_9 = BF167$ ili BF173, odnosno BF224 ili BF225. Transformatori $T_1 = T_2 = T_3$, vidi tekst

Tranzistor TR_3 radi u kristalnom oscilatoru s kvarcom Q kojemu je frekvencija 9 MHz. Titrajni krug sa zavojnicom L_1 , u kolektorskom strujnom krugu, smješten je zajedno sa L_2 u jednome, dok se zavojnice L_3 i L_4 nalaze u drugom oklopnom loncu. Titrajni krug sa zavojnicom L_3 također resonira na 9 MHz i s onim prvim sačinjava kapacitivno vezani bandfilter za ovu frekvenciju. Kapacitivna veza mora biti »kritična«, tj. dovoljna da kod resonantne frekvencije na oba titrajna kruga bude jednak visokofrekventni napon, ali da se još ne pojavi tipično bandfiltersko proširenje propusnog opsega. Resonantna krivulja mora dakle imati samo jedan »vrh«. Zavojnice L_2 i L_4 dolaze uz hladni kraj zavojnica L_1 i L_3 . Pri tome zavojnice titrajnih krugova imaju 3 do 4 puta više zavoja nego zavojnice L_2 i L_4 .

Niskofrekventni signal A , sa transformatora T_2 , vodi se preko L_4 na balans-modulator s diodama D_1 i D_2 . Istovremeno niskofrekventni signal B , sa transformatora T_3 , ide preko L_2 na balans-modulator s diodama D_3 i D_4 .

Visokofrekventni naponi na bandfilteru su kod resonantne frekvencije po veličini jednaki, ali između napona na primarnoj i naponu na sekundarnoj strani postoji razlika faze od 90° . Ista razlika faze će postojati i između visokofrekventnih napona koji se preko L_2 i L_4 dovode balansnim modulatorima. Zato će nastati dva različita DSB-signal. Budući da su oba modulatora priključena na isti titrajni krug sa zavojnicom L_5 , DSB-signali se ovdje zbrajaju i po amplitudi i po fazi. Rezultat je, prema onome što smo ranije rekli, potiskivanje jednog od bočnih pojasa. Preostaje SSB-signal.

Zavojnica L_6 je namotana preko sredine zavojnice L_5 i ima četiri puta manje zavoja. Razumije se da i zavojnica L_5 mora resonirati na 9 MHz i to sa kapacitetom serije

od dva kondenzatora po 1 nF, što iznosi 500 pF.

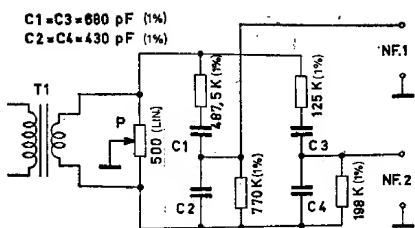
SSB-signal može sadržati bilo gornji bilo donji bočni pojas, ovisno o položaju dvopolnog preklopnika X , Y . Pomoću ovoga se može faza niskofrekventnog napona iz T_2 okrenuti za 180° .

Tranzistor TR_3 služi za transpoziciju SSB-signal sa 9 MHz na radnu frekvenciju unutar nekog od amaterskih kratkovalnih područja. Neki VFO koji oscilira između 5,0 i 5,5 MHz može ovdje poslužiti za transpoziciju ili u područje od 3,5 do 4,0 MHz ili u područje od 14,0 do 14,5 MHz, u kojima se nalaze i frekvencije za održavanje amaterskih FONE veza. Uz takav VFO treba samo valni preklopnik C , D prebaciti ili u položaj »80« ili »20«. U prvom položaju preklopnika SSB-generator daje na izlazu signal u 80-metarskom, a u drugom položaju u 20-metarskom amaterskom opsegu.

Potiskivanje vala nosioca postiže se sa *oba* potencijometra, P_4 i P_5 . Za optimalno potiskivanje neželjenog bočnog pojasa treba se poslužiti i potencijometrima P_2 i P_3 . Potencijometrom P_1 regulira se jakost SSB-signal.

RC-mrežu za razdvajanje faze niskofrekventnog signala moguće je načiniti i prema uzoru na drugu poznatu mrežu »2Q4« tvornice »Barker & Williams«. I ova se pokazala kao vrlo dobra. Prikazana je na sl. 14-20. Njena je prednost u tome da kapaciteti imaju »normalnije« vrijednosti. Ipak treba između mnogo njih izabrati parove od po 680 pF i po 430 pF kojima se kapacitet od nominalnih vrijednosti razlikuje najviše za 2%. Niskofrekventni naponi NF_1 i NF_2 razlikuju se po fazi za 90° za čitav opseg frekvencija između 300 i 3000 Hz. Ove napone možemo izjednačiti potencijometrom P .

Nezgodno je da se za obje opisane RC-mreže moraju upotrebiti vrijednosti koje nisu standardne.



Sl. 14-20. Primjer RC-mreže za pomak faze od 90° za SSB-generatore, prema poznatoj RC-mreži firme »Barker & Williams«, tip »2Q4«

Osim toga te vrijednosti moraju biti što tačnije, inače je potiskivanje neželjenog bočnog pojasa nedovoljno (vidi tablicu 14-1).

Iako je zamršenije građena, RC-mreža za pomak faze od 90° , prema HA5WH, mnogo je povoljnija za samogradnju. Shematski je nacrtna na sl. 14-21. Upotrebljena su 24 otpornika i 24 kondenzatora. Prednost ove mreže je u tome da se mogu uzeti standardne vrijednosti svih dijelova. Pri tom je dopuštena tolerancija od $\pm 10\%$. Potiskivanje neželjenog bočnog pojasa

Tablica 14-1. Ovisnost potiskivanja neželjenog bočnog pojasa o tačnosti pomaka faze (VF ili NF) u generatoru SSB signala faznom metodom

Razlika od potrebnog pomaka faze ($^\circ$):	Potiskivanje neželjenog bočnog pojasa (dB):
0,125	59,25
0,25	53,24
0,5	47,16
1	41,11
2	35,01
3	31,42
4	28,85
5	26,85
10	20,50
15	16,69
20	13,93
30	9,98
45	6,0

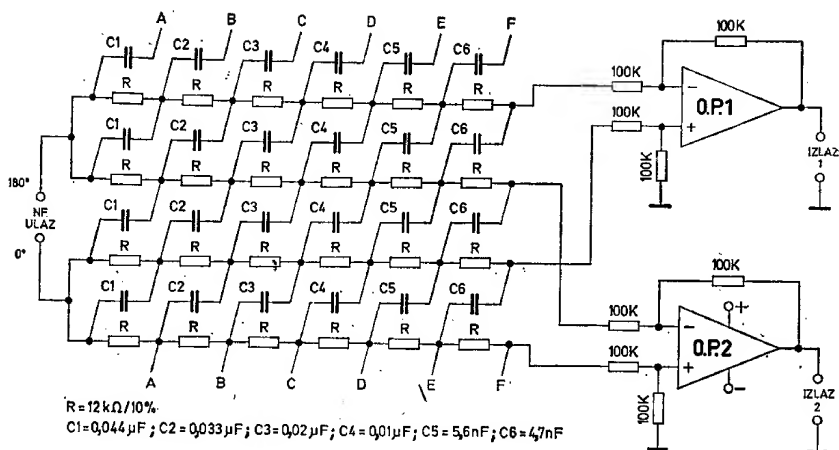
ipak je vrlo dobro. Dosiže čak 60 dB! To je zbog toga jer je pomak faze za niske frekvencije na izlazu 1, u odnosu na izlaz 2, za opseg od 300 do 3000 Hz upravo $90 \pm 1\%$. Da se to ostvari ulazna impedancija mora biti mnogo niža od izlazne.

Odgovarajuću ulaznu priključnu impedanciju moguće je postići prema sl. 14-22. Upotrebljeni FET ima dva radna otpora po 1 kΩ. Na njih su kapacitivno spojeni IZLAZ 1 i IZLAZ 2. Između njih je potrebna fazna razlika od 180° .

Isto se može postići i operacijskim pojačalima, prema sl. 14-23. Dva integrirana operacijska pojačala, od kojih jedno (gornje) okreće fazu a drugo (donje) ne okreće, na svojim izlaznim priključnicama IZ. 1 i IZ. 2 daju NF napone koji se opet razlikuju u fazi za 180° . Ukoliko se upotrebi dvostruko integrirano operacijsko pojačalo, npr. MC 1458 CP1, taj će sklop zauzeti malo mjesta.

Da opterećenje RC-mreže, sl. 14-21, bude što manje, ona se sa operacijskim pojačalima O.P.1 i O.P.2 spaja preko visokoomskih otpornika (po 100 kΩ). Operacijska pojačala mogu biti »741«. Dakako, umjesto njih bi se izravno mogla priključiti integrirana operacijska pojačala koja na svom ulazu imaju FET-stupnjeve, ali takve je teže nabaviti.

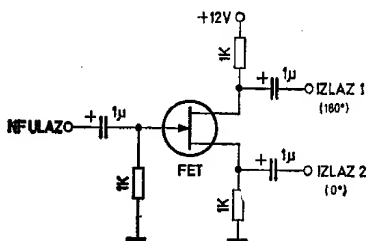
Tablica 14-1 vrijedi podjednako za pomak faze visoke frekvencije vala nosioca kao i za pomak faze niskofrekventnog, modulacijskog signala. Na shemi, sl. 14-19, za postizavanje potrebnog pomaka faze VF oscilacija bio je upotrebljen band-filter ($L_1 + L_2$). Ako su oba titrajna kruga dobro ugođena i međusobno kritički spregnuta, pomak faze je 90° . Hoće li tako ostati kroz duže vrijeme, ovisi o tome da li će titrajni krugovi ostati dovoljno dugo ugođeni.



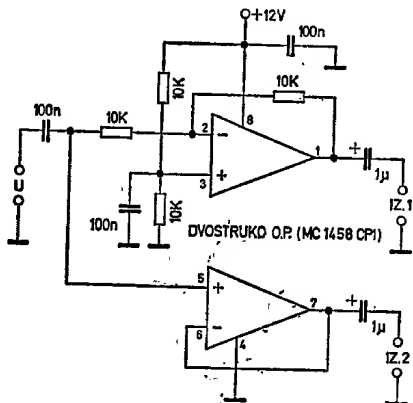
Sl. 14-21. RC-mreža za pomak faze niskofrekventnog signala za SSB-generatore faznog tipa, prema HA5WH. Za opseg frekvencija između 300 i 3000 Hz pomak faze je 90°, na $\pm 1\%$, iako tolerancija svih otpornika i kondenzatora u RC-mreži može biti do 10%. O.P.1 i O.P.2 su integrirana operacijska pojačala (IL 741)

U RC-mreži za postizavanje potrebnog faznog pomaka, sl. 14-24, osigurana je trajnost radnih uvjeta. Kapaciteti C upotrebljenih kondenzatora moraju imati za frekvenciju vala nosioca impedanciju R_c koja je jednaka omskom otporu R . Oba otpornika moraju biti međusobno jednaka. Ukoliko im se otpori ne razlikuju za više od 1% i ako su kapaciteti odabrani tako da ni njihove impedancije ne odstupaju od

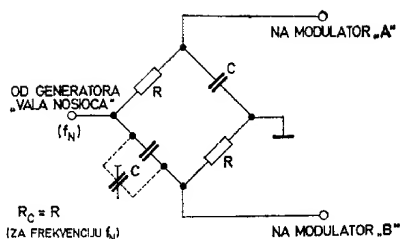
te vrijednosti za više od 1%, može se očekivati da će neželjeni bočni pojas biti potisnut za nekih 40 dB



Sl. 14-22. NF pojačalo sa FET-om za postizanje suprotnih faza, potrebnih za dovođenje niskofrekventnog signala u RC-mrežu, prema HA5WH (sl. 14-21)



Sl. 14-23. Postizanje suprotnih faza, na izlazu IZ.1 i IZ.2, pomoću dvostrukog operacijskog pojačala. Numeracija priključaka vrijedi za »MC 1458 CP1«. Mogu se upotrebiti i dva operacijska pojačala IL 741, ali su onda priključci na njima drugačije raspoređeni



Sl. 14-24. Kod faznih generatora SSB-signalu mora se i visokofrekventni signal koji stiže na jedan modulator razlikovati u fazi za 90° od onoga koji stiže na drugi modulator. Ovo je RC-mreža s kojom se to može postići, uz uvjet da impedancija kapaciteta C (za frekvenciju vala nosioca!) bude jednaka otporima R . I oni moraju biti međusobno jednaki. Ako je frekvencija, npr. 9 MHz; ako su $R=100\ \Omega$; kapaciteti C moraju biti 177 pF. Kondenzatori od po 150 pF, uz trimerske kondenzatore od maksimalno 40 pF, omogućuju precizno postizanje navedene vrijednosti

(uz dobru niskofrekventnu RC-mrežu!). Na prijemnoj strani se ni na koji način ne može ustanoviti da li je SSB-signal dobiven faznom ili filterskom metodom!

NF POJAČALA ZA SSB TELEFONIJU

Na shemama SSB-generatora (sl. 14-9, 14-15 i sl. 14-19) nacrtane su sheme tranzistorskih niskofrekventnih pojačala koja su vrlo pogodna za ovu svrhu. Kod njih su niske frekvencije zanemarene primjenom razmjerno malih kapaciteta za vezu između pojedinih stupnjeva. Ovo je potpomognuto malim kapacitetima koji premošćuju emiserske otpornike. Potiskivanje visokih frekvencija postiže se kondenzatorima koji se stavljaju paralelno sa ulazom, kao što je, npr. kondenzator od 4,7 nF ispred ulaza u strujni krug baze tranzistora TR_1 na sl. 14-19. Sličan

efekt postiže se i kapacitetima za negativnu povratnu vezu. Takva je ostvarena kondenzatorom od 220 pF između kolektora i baze tranzistora TR_2 na istoj shemi. I kondenzatori od 10 nF koji su stavljeni paralelno sa primarnim zavojnicama transformatora T_2 i T_3 služe istoj svrsi.

Više primjera potiskivanja najnižih i najviših frekvencija kod niskofrekventnih pojačala ima u poglavlju o prijemnicima u ovoj knjizi.

PROMJENA FREKVENCije

Generatori SSB-signalu redovito rade na jednoj, posebno odabranoj frekvenciji. To je ona za koju postoje potrebni radni uvjeti: dovoljno konstantni oscilatori, odgovarajući titrajni krugovi, kristalni filteri i drugo. SSB-signal se danas, zbog toga, proizvodi uz primjenu frekvencije »vala nosioca« koja iznosi između 400 i 11000 kHz (najčešće oko 455 kHz ili oko 9 MHz).

Sa tih frekvencija treba SSB-signal transponirati (tj. premjestiti) u neki od amaterskih kratkovalnih ili ultrakratkovalnih opsega. Već smo rekli da se promjena frekvencije SSB-signalu za prelaz na amaterske opsege ne može postići umnažanjem. Da signal zadrži razumljivost mora se potrebna promjena frekvencije postići isključivo miješanjem.

Za promjenu frekvencije putem miješanja mogu u SSB-predajnicima poslužiti, u principu, jednaki stupnjevi koje smo ranije upoznali u poglavlju o prijemnicima. Za tu su svrhu posebno pogodni različiti balans-modulatori i produkt-detektor s tranzistorima i s diodama, kod kojih je moguće potpuno potisnuti oscilatorovu frekvenciju. U novije vrijeme se za tu svrhu sve više primjenjuju dvostruko simetrični mikseri (DBM) kod kojih se na izlazu pojavljuju pretežno oni produkti miješanja koje trebamo.

I s takvima smo se već ranije upoznali. O tome će u pojedinim konkretnim primjenama biti još i detaljnije govora.

LINEARNA VF POJAČALA ZA SSB

Pripremanje SSB-signal, kao i njegovu transpoziciju u izabrani amaterski opseg, na konačnu radnu frekvenciju, treba — prema općenito prihvaćenom pravilu — izvršiti *dok je signal još slab*, uz primjenu niskih napona za sve potrebne VF i NF signale koji kod toga sudjeluju. Kad je SSB-signal konačno formiran, on treba da je još vrlo slab i da njegovi naponi jedva dosižu nekoliko volta. Ovome zahtjevu najbolje odgovaraju različiti sklopovi s tranzistorima i »integriranim« koje danas isključivo nalazimo u početnim stupnjevima SSB-predajnika.

Da se postigne dovoljno snažan SSB-signal treba ga pojačati, kako bi do antene stigla snaga od nekoliko vata pa do nekoliko stotina vata, koliko najčešće iznosi izlazna snaga amaterskih predajnika. *Pojačanje mora biti linearno*. To znači da izlazni visokofrekventni napon svakog pojedinog stupnja mora biti vjerna i povećana reprodukcija svih promjena ulaznog napona.

Za manje snage se linearno pojačanje postiže u stupnjevima *klase A*, dok za veće snage moramo upotrebiti linearna pojačala koja rade u *klasi AB*. Kod izlaznih stupnjeva predajnika, u kojima se upotrebljavaju elektronske cijevi ne smije pobuda biti prevelika. Potrebno je ostati *unutar uvjeta za klasu AB1*, što znači da *ne smije poteći stuja preko upravljačke (prve) mrežice*. Pobuda smije biti samo čista naponska, osobito ako se upotrebljavaju tzv. televizijske otklonske cijevi (6DQ5, 6GB5, 6DE5, 6HF5, 6JE6, 6JS6, 6KD6, 6LF6, 6KG6, 6LQ6, EL500, EL505 i slične). Na taj način sva izobličenja ostaju razmjerno

mala i produkti intermodulacije ostaju barem 26 do 30 dB ispod nivoa korisnog signala.

Izuzetak su »prave« predajne cijevi, kao što je, npr. poznata i često upotrebljavana cijev 6146B ili QE05/40, kao i EL152, EL153 ili (za UKV) cijela »familija« QOE-cijevi: QOE02/5 (= 6939) QOE03/12 (= 6360), QOE03/20 (= 6252) i QOE06/40 (= 5894) i slične. Kod ovih cijevi je dopušten rad u *klasi AB2 i klasi B*, jer izobličenja — *uz ispravnu pobudu* — nisu prevelika.

Tranzistori, u visokofrekventnim pojačalima snage, daju također dobro linearno pojačanje, *ako* smo odabrali ili »pogodili« pravi tip. Općenito je dobro zapamtiti da se bolje linearno pojačanje postiže s tranzistorima uz veći kolektorski napon. Ako je neki tranzistor namijenjen za linearno pojačalo uz pogonski napon od 24 do 28 V, *ne možemo biti sigurni* da će on linearno pojačavati i onda ako mu pogonski napon smanjimo na 12 do 14 V. Najbolji tranzistori za linearan rad su, svakako, savremeni snažni VMOS-tranzistori uz napon od 28 V. Vrlo dobri su i planarni, epitaksijalni tranzistori »multiemiterkog tipa«. Oni imaju mnogo (čak više od 100) emitera koji su preko minijaturnih otpornika, integriranih na njihovoj silicijskoj pločici, povezani sa emitterskim priključkom tranzistora. Ima ih za pogonski napon od 28, kao i za napon od 12 V, uz razmjerno dobru linearnost rada. Kažemo »razmjerno dobro«, jer amateri — u želji da »izvuku« što veću izlaznu snagu iz pojedinog stupnja u predajniku — pretjeruju sa pobudom. *Prevelika pobuda* (»predajnik« tranzistor!) uvijek dovodi do velikih izobličenja, do stvaranja »splatera« i drugih smetnji koje onda *onemogućuju rad drugih stanica* na istom opsegu, ali i u znatno širim frekvencijskim područjima često i na velikim udaljenostima. Takav signal je teško primati; on je na skali prijemnika »preširok«. *Prvi znak da je tranzistor u predajniku*

previše pobuđen neka nam bude »raport«, od stanice s kojom održavamo vezu, da je *signal »širok«*. Odmah treba smanjiti pobudu! Često je dovoljno smanjiti glasnoću kojom govorimo u mikrofoni ili još bolje, naniže okrenuti dugme »Micro gain« i tako smanjiti prvi i najčešći uzrok prevelikog »drajvinga«.

Bolje malo slabiji, ali čist, signal nego po svaku cijenu »više vata«, za koje nitko ne zna na kojoj su frekvenciji i kamo odlaze! (Vidi i poglavlje o predajnicima.)

NOVIJE PRIMJENE SSB TEHNIKE

Dvovrsna modulacija istog vala nosioca (ISB)

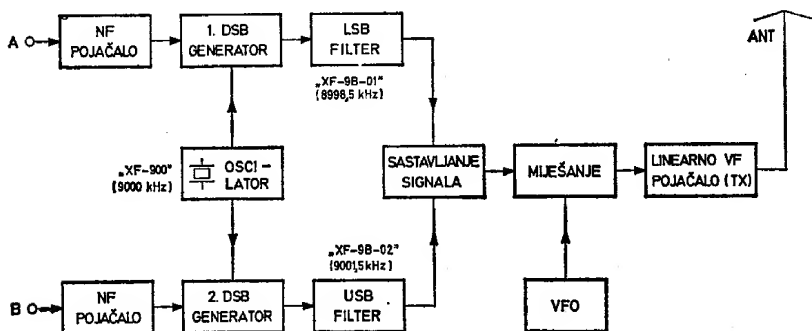
Kratice ISB znači: »*Independent Sidebands*« ili »*neovisni bočni pojasi*«. Isti val nosilac se može modulirati tako da se dobiju dva bočna pojasa, *svaki s drugim sadržajem*, prenoseći različite informacije.

Blok-shema ISB-predajnika je prikazana na sl. 14-25. Informacija A (npr. govor) ulazi u svoje nisko-frekventno pojačalo. Informacija B

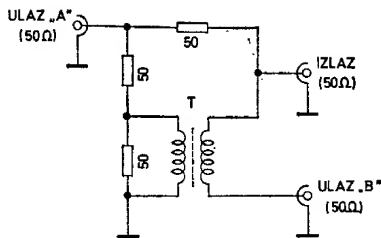
(npr. telegrafski znakovi ili amaterska televizija, SSTV) ima svoje, odijeljeno NF pojačalo. Zajednički oscilator s kvarcom od 9000 kHz (»XF-900«) proizvodi »val nosilac« koji se koristi za miješanje u, opet odijeljenim, generatorima »1.DSB« i »2.DSB«. Oni, svaki za se, proizvode VF signal sa dva bočna pojasa, uz potisnuti val nosilac. Prolaskom kroz »LSB filter« (»XF-9B-01«) od informacije A preostaje samo jedan bočni pojas. Slično se dogodi prolaskom DSB-signala kroz »USB filter« (»XF-9B-02«). On informacije B preostaje također samo jedan bočni pojas. Prvi je *donji*, a drugi je *gornji* bočni pojas, kojima je sadržaj drukčiji, jedan ne ovisi o drugome.

Ako na neki način sastavimo ta dva SSB-signala, možemo ih miješanjem — uz upotrebu pogodnog VFO-a — premjestiti (transponirati) na izabranu radnu frekvenciju, odvesti u *linearno* VF pojačalo predajnika i otuda u antenu, ANT.

Sastavljanje signala može se ostvariti na više načina. Možda je najjednostavniji onaj na sl. 14-26. VF transformator T ima prenos 1:1 a sam sastavljač signala (engl.: »Radio Frequency Combiner«) ima



Sl. 14-25. Blok-shema predajnika za ISB emisiju. Informacija A i informacija B se istovremeno prenose kao dva neovisna bočna pojasa istog vala nosioca. U oscilatoru je kao kristal, kojim je određena frekvencija vala nosioca, upotrebljen kvarc »KVG-XF-900«, dok su filteri za bočne pojase od iste tvornice (KVG), tipa »XF-9B-01« (LSB) i »XF-9B-02« (USB).
Opis u tekstu



Sl. 14-26. Jedna od mogućnosti da se dva SSB-signalu u ISB-predajniku sastave. Transformator T je bifilarno namotan (sa dvije, međusobno upređene, tanke žice) na maloj prstenastoj, feritnoj jezgri. Dovoljno je 10 bifilarnih zavoja

dva ulaza i jedan izlaz. Na ULAZ »A« dolazi jedan SSB-signal, na ULAZ »B« dolazi drugi SSB-signal, dok na IZLAZU dobijemo sastavljen signal.

Za prijem takvog ISB signala, ulazni stupnjevi i miješanje ostaju nepromijenjeni. Iza miješanja signali se razdvajaju međufrekventnim kvarcovim filterima tako da gornji bočni pojas ide kroz jedan, a donji bočni pojas kroz drugi međufrekventni »kanal«. Iza jednog i iza drugog međufrekventnog pojačala su odijeljeni produkt-detektor koji demoduliraju signal. Tako se dobiju obje emitirane informacije, svaka na svom izlazu iz prijemnika.

Visokofrekventni »audio procesor«

O ograničenju opsega niskih frekvencija na najnužnije, između 300 i 3000 Hz, za pripremanje SSB-signalu, smo već govorili. Takvo ograničenje frekvencije potrebno je i kod drugih vrsta modulacije (vidi sljedeće poglavlje).

Još u poglavlju o amplitudnoj modulaciji utvrdili smo da je prosječna modulacija kod govora oko 30%, dok samo neki naponski vrhovi — prisutni u audiofrekventnom spektru frekvencija — dosižu stu-

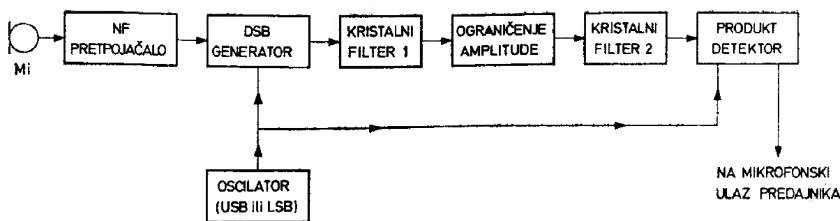
panj modulacije od 100%. Kod emisije govora pomoću SSB tehnike događa se slično: maksimalnu snagu dosižu samo ti vrhovi, dok je prosječna snaga također oko 30%.

Da bismo mogli energiju, sadržanu u niskofrekventnom spektru govornih frekvencija, bolje iskoristiti i povećati prosječnu snagu emitiranih SSB signala (a bez pretjecanja cijevi ili tranzistora i bez »splatera«!) treba na neki način ograničiti amplitudu NF signala, osobito onih pretjerano velikih vrhova koji ne doprinose mnogo razumljivosti. To se postiže uređajima za ograničenje amplitude (»limiterima«) i tzv. kompresorima dinamike koji daju podjednaki NF napon, bez obzira da li u mikrofona govorimo glasnije ili tiše. O tim uređajima će biti posebno govora u poglavlju o frekventnoj modulaciji.

Osim ovih jednostavnijih uređaja (limitera i kompresora) postoje i uređaji sa istim ciljem, ali do cilja se dolazi kompliciranijim »procesorima«. Otuda im ime: *audio procesori*. Najboljima su se pokazali oni audio procesori koji se služe SSB-tehnikom.

Princip takvog audio procesora vidimo na sl. 14-27. To je samo *blok-shema*, neka vrsta »voznog reda« po kojemu obrađivani signal mora proći kroz takav uređaj. Na temelju onoga što smo do sada rekli o pojedinim sklopovima koji služe u SSB-tehnici, neće biti iskusnijim radio-amaterima teško da takav procesor načine, ako samo budu htjeli (i mogli, HI). To je prilično *skup način* obrade NF signala (ima dva kristalna SSB filtera!), ali su i rezultati izvanredni.

Mikrofon se priključuje na NF *pretpojačalo*, ugrađeno u procesor (sl. 14-27). Iza njega slijedi *DSB-generator*; najbolje dvostruki balans-mikser. Iza njega slijedi *prvi kristalni SSB filter*, zatim sklop za *ograničenje amplitude* i *drugi kristalni SSB filter*. Oba SSB filtera moraju biti jednaki, oba za USB

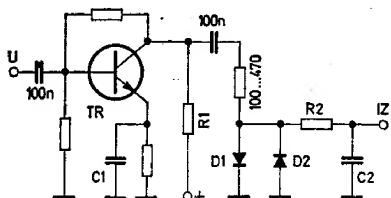


Sl. 14-27. »Audio-procesor« za ograničenje modulacijskih niskofrekventnih napona i po frekvenciji i po amplitudi. NF-pretpojačalo propušta samo frekvencije od 300 do 3000 Hz. Ostalo vidi tekst

ili za LSB. Prema vrsti filtera treba izabrati i oscilator, najbolje s kvarcovim kristalom za odgovarajući bočni pojas.

U produkt-detektoru se pomoću istog oscilatora demodulira SSB signal i ponovno se dobije niskofrekventni signal koji je pošao iz mikrofona. On je sada, prošavši opisani »proces«, tako preinačen da nema više naponskih vrhova koji se ističu iznad ostalih NF napona. Amplituda je u širokim granicama (ovisno o ograničenju i o pretpojačanju) konstantnija i podjednaka za sve frekvencije s kojima se postiže jača modulacija, bez opasnosti prevelike pobude predajnikovih stupnjeva. Učinak takve modulacije je kao da je snaga predajnika višestruko pojačana. Signal se prima za jednu do dvije S-jedinice bolje, uz nesmanjenu razumljivost govora.

Na sl. 14-28 je najjednostavniji sklop za ograničenje amplitude. Tranzistor TR pojačava signal. Stupanj pojačanja ovisi, uz ostalo o



Sl. 14-28. Princip ograničenja amplitude. Vidi tekst

emitorskom kondenzatoru C_1 i o radnom otporu R_1 . Za visoke frekvencije umjesto R_1 može doći visokofrekventna prigušnica ili (za sl. 14-27) međufrekventni transformator (npr. za 9 MHz). Dioda D_1 i D_2 ograničavaju amplitudu na taj način da provedu čim napon dosegne 0,3 V (ako su germanijeve) ili 0,7 V (ako su silicijeve diode). Izlazni napon ne može preći tu vrijednost. R_2 i C_2 predstavljaju filter. On je potreban za uklanjanje viših frekvencija koje nastaju ograničenjem amplitude. Glavni je filter za ove nepoželjne frekvencije ipak kristalni SSB-filter br. 2, sl. 14-27. O tim problemima vidi i u slijedećem poglavlju.

POMOĆNI UREĐAJI ZA SSB PREDAJNIKE

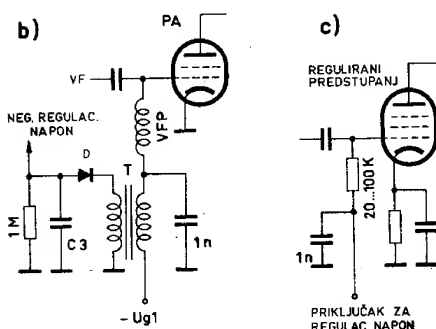
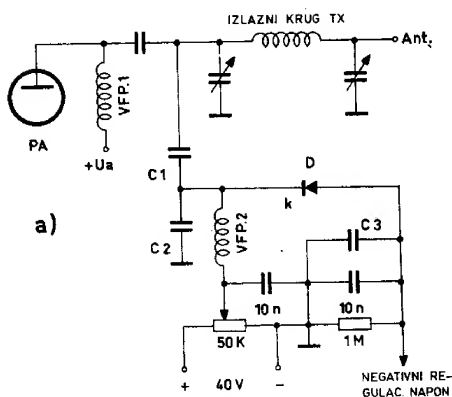
Sklop za ograničenje izlazne snage

Sklopovi za automatsko ograničenje izlazne snage, poznati pod kraticom ALC (»automatic level control«), imaju zadatac da spriječe pojavu pretjerano velikih modula-cijskih »vrhova« koji bi mogli premašiti granice linearnog režima rada SSB-predajnika. U principu je ovo slično automatskoj regulaciji pojačanja (ARP) kod prijemnika, što znači da se vrlo malen dio izlazne snage predajnika iskorištava za postizavanje regulacijskog napona. Ovim naponom se smanjuje pojačanje tako da izlazna snaga ne

može postati veća od neke unaprijed odabrane vrijednosti.

Takvi sklopovi u SSB-predajnicima treba da stupe u akciju tek onda kad izlazna snaga naraste u blizinu dopuštenog maksimuma. Na taj način se i regulacija pojačanja odgađa sve do momenta kad je maksimum gotovo dostignut. Tada dolazi do tako brzog smanjenja pojačanja da amplituda ne može doseći pretjerano velike vrijednosti.

Regulacijski napon možemo dobiti na više načina. Jedan od njih je prikazan na sl. 14-29a. Dioda *D* je spojena s kapacitivnim razdjelnikom C_1/C_2 sa kojega crpe visokofrekventni napon. Budući da je



Sl. 14-29. Sklopovi za ograničenje izlazne snage SSB predajnika. Opis u tekstu

na diodu stavljen **zaporni prednapon** (najviše 40 V), ona počinje da propušta tek onda, kad visokofrekventni napon premaši vrijednost prednapona. Veće vrijednosti VF napona prolaze kroz diodu i na otporniku od 1 MΩ pojavi se negativni regulacijski napon.

Zaporni prednapon diode, kod izlaznih stupnjeva s cijevima, treba potencijetrom odabrati obično oko 20 V. Kapacitivni razdjelnik neka diodi dovode visokofrekventni napon vršne vrijednosti oko 20 V onda, kada izlazni stupanj predajnika daje maksimalni OUTPUT bez izobličenja. Zajednički kapacitet serije kondenzatora C_1 i C_2 neka pri tome ne bude veći od 5 do 10 pF, tj. on mora biti malen u odnosu prema kapacitetu u izlaznom titrajnom krugu da ne utječe na ugađanje. Da lakše procijenimo vrijednosti ovih kapaciteta možemo pretpostaviti da će, kod linearnog VF pojačala snage, vršna vrijednost VF napona smjeti da dosegne 75% anodnog napona. Ako je npr., anodni napon 640 V bit će vršna vrijednost visokofrekventnog napona $0,75 \times 640 = 480$ V. Za diodu trebamo samo 20 V. Prema tome kapacitivni djeljitelj mora smanjiti napon u omjeru 480:20 ili 24:1. Odaberemo li, dakle, kondenzator C_1 od 5 pF, mora C_2 imati 24 puta više, tj. 120 pF.

Kondenzatorom C_3 je određena vremenska konstanta regulacije. C_3 će obično imati oko 0,1 μF. Povećanje kapaciteta produžuje a smanjenje kapaciteta skraćuje vremensku konstantu. Paralelno spojeni kondenzator od 10 nF služi za poboljšanje filtracije ostataka visoke frekvencije. Dioda može biti obična germanijeva ili VF silicijeva.

Ako se u izlaznom stupnju linearnog pojačala za SSB-signale nalazi neka snažna tetroda ili pentoda koja radi u klasi AB1 uz VF pobudu na prvoj mrežici, za postizavanje regulacijskog napona može poslužiti sklop na sl. 14-29b. Tu se iskorištava činjenica da do sasvim slabog ispravljanja signala na prvoj

mrežici dolazi i prije nego pobudna amplituda dovede potencijal mrežice na nulu. Tek kod većih amplituda bi došlo do jačih struja mrežice i do nelinearnosti. Spomenuto slabo ispravljanje pobudnog SSB-signala je dovoljno da se na primarnoj zavojnici transformatora T pojave niskofrekventne struje. Ove se prenese na sekundarnu stranu, isprave diodom D i daju negativan regulacijski napon. Kondenzator C_3 određuje vrijednost vremenske konstante regulacije.

Negativni napon za regulaciju pojačanja, dobiven na bilo koji od opisanih načina, treba odvesti na prvu mrežicu neke »ekspencijalne« pentode kojoj se pojačanje mijenja kod promjene prednapona. Princip takvog stupnja za regulaciju je prikazan na sl. 14-29c. Ako ovaj stupanj uporedimo sa reguliranim stupnjevima u prijemnicima, vidimo da nema bitnih razlika. Što je veće pojačanje između reguliranog stupnja i izlaznog stupnja predajnika, to će regulacija biti efikasnija i to će manji napon trebati za dobru regulaciju. To znači da takvu regulaciju treba primijeniti sa svim »naprijed«, najbolje blizu ili

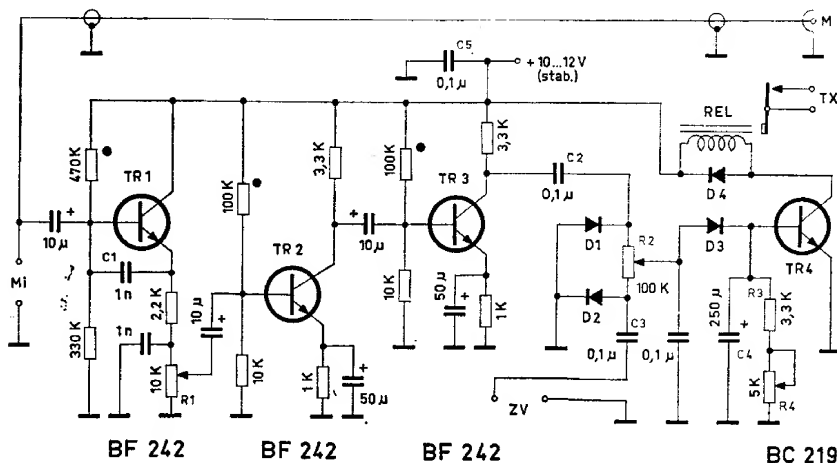
u samom SSB-generatoru. Pri tome neka regulirani stupanj ne radi na istoj frekvenciji na kojoj radi izlaz predajnika. Na taj način je lako spriječiti neželjene povratne veze.

Kod tranzistorskih predajnika može se primijeniti sklop za ograničenje izlazne snage slično kao za ARP kod prijemnika ili prema sl. 9-84.

Automatsko uključivanje i isključivanje predajnika

Većina savremenih predajnika i primopredajnika ima ugrađen uređaj za automatsko uključivanje i isključivanje, tzv. »VOX«. Ova kratica dolazi od naziva »voice control«, što znači »upravljanje glasom«. Jednostavniji i jeftiniji SSB-uređaji toga nemaju, ali se VOX može i naknadno dodati. Shema na sl. 14-30 prikazuje kako se VOX može sagraditi pomoću tranzistora.

Mi je mikrofonski priključak visoke impedancije. Odavde se nisko-frekventne mikrofonske struje oklopljenim kablom vode do priključnice M koja se spaja s mikro-fonskim ulazom modulatora u pre-



Sl. 14-30. Shema tranzistorskog uređaja za automatsko uključivanje predajnika (VOX). Umjesto označenih tranzistora mogu se upotrebiti modeli: BC 107 i BC 141

dajniku. Istovremeno mikrofonske struje odlaze u pojačalo s tranzistorima TR_1 , TR_2 i TR_3 . Iza ovoga dolazi ispravljač signala s diodom D_1 . Dok se govori ispred mikrofona, na R_2 nastaje takav istosmjerni napon koji, preko diode D_2 , »otvara« tranzistor TR_4 . Kolektorska struja poteče kroz zavojnicu releja REL koji uključi predajnik (preko priključnica TX). Da relej ne bi prekidao nakon svake riječi, iza diode D_2 je sklop sa otpornikom R_3 , potenciometrom R_4 i kondenzatorom C_1 . Ovaj sklop ima vremensku konstantu koja određuje kako dugo će tranzistor TR_4 aktivirati relej i kako dugo će biti uključen predajnik. Ova vremenska konstanta se može mijenjati u nekim granicama pomoću potenciometra R_4 i prilagoditi načinu na koji neki operator govori.

Priključnice, označene sa ZV , treba spojiti sa sekundarnom stranom izlaznog transformatora, dakle paralelno sa zvučnikom u prijemniku. Taj priključak, kondenzator C_1 i dioda D_2 sačinjavaju tzv. »anti-trip«, tj. sklop koji mora spriječiti da VOX bude okinut zvukovima koji dolaze od prijemnika. Na shemi se vidi da je dioda D_2 drugačije okrenuta i zato će napon koji se njenim djelovanjem stvara na R_2 biti protivan naponu koji se stvara djelovanjem diode D_1 . Potenciometar R_2 moramo staviti u takav položaj da REL ostaje na miru za vrijeme prijema. Dioda D_2 služi za zaštitu tranzistora TR_4 i ne može propustiti nijedan negativan naponski impuls koji bi mogao doći iz prijemnika i od diode D_2 .

Cijeli VOX se može ugraditi u malu limenu kutiju veličine $5,5 \times 5,5 \times 12$ cm, kako ga vidimo na sl. 14-31. Dugme »DELAY« pripada potenciometru R_4 . Dugmetom »ANTI-TRIP« okreće se R_2 . Tko želi može dodati i dugme za R_1 , ali taj potenciometar može biti u unutrašnjosti kutije jednom za svagda postavljen na najpovoljniju vrijednost osjetljivosti uređaja.

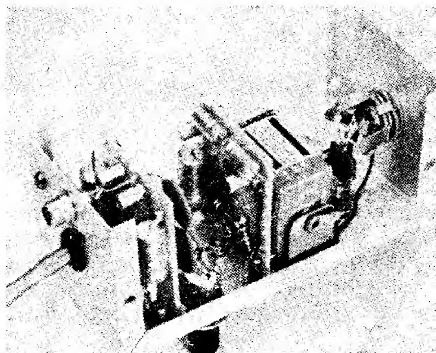
Raspored dijelova u unutrašnjosti kutije vidimo na sl. 14-32. Tu je



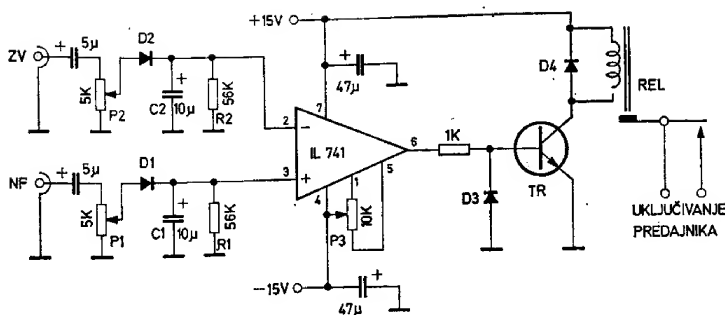
Sl. 14-31. Vanjski izgled tranzistor-skog VOX-a

is suha baterija za pogon. Ona ne mora biti u kutiji. Glavno je da se VOX napaja iz izvora stabilnog napona od 10 do 12 V.

Integrirano operacijsko pojačalo IL 741 jedan je od najuniverzalnijih poluvodičkih sklopova. Uz sve ostalo, on može poslužiti i kao komparator. To znači da se pomoću njega mogu upoređivati dva napona. Izlazni napon je ovisan o razlici dvaju napona koje upoređujemo.



Sl. 14-32. Pogled u unutrašnjost tranzistor-skog VOX-a



Sl. 14-33. Shema za VOX-kontrolu predajnika NF-signalom. Upotrebljeno je operacijsko pojačalo IL 741 kao komparator dvaju napona. Opis u tekstu

Ovo je iskorišteno za VOX, prema shemi na sl. 14-33. Na priključnicu *NF* dovodimo niskofrekventni modulacijski napon (oko 2 V). Dioda *D*₁ ga ispravlja i na kondenzatoru *C*₁ stvara se napon koji djeluje na *neinvertirajući* ulaz komparatora (br. 3). Na izlazu (br. 6) pojavljuje se jednak napon, dovoljan da otvori tranzistor *TR* i da njegova kolektorska struja aktivira relej *REL*. Ovaj onda uključuje predajnik. Da jednom aktivirani relej ne bi »klopao«, tj. uključivao i isključivao predajnik između pojedinih riječi, moraju kapacitet kondenzatora *C*₁ i otpor *R*₁ biti odabrani tako da se relej kroz neko vrijeme zadržava zatvoren. Vrijeme zadržavanja je određeno vremenskom konstantom *R*₁*C*₁. Povećamo li *C*₁ ili *R*₁, ili oboje, vremenska konstanta postaje veća a zadržavanje duže.

Ako bi, za vrijeme prijema, zvukovi koji se čuju iz zvučnika došli do mikrofona, također bi se mogao aktivirati *REL* i uključiti predajnik. Da se to ne dogodi, moramo niskofrekventne napone sa samog zvučnika, iz prijemnika, dovesti na priključnicu VOX-a, označenu sa *ZV*. Napon koji se, poslije ispravljanja diodom *D*₂, pojavi na kondenzatoru *C*₂ odvodimo na *invertirajući* ulaz (br. 2) našeg komparatora. Zbog invertirajućeg djelovanja, učinak na izlazni potencijal (br. 6) je obrnut

nego u predašnjem slučaju. Napon u toj tački postaje negativan, tranzistor *TR* ostaje zatvoren i *REL* se ne može aktivirati niti predajnik uključiti.

Da se djelovanja ovih dvaju niskofrekventnih napona ujednače, služe potencijometri *P*₁ i *P*₂. Dioda *D*₃ štiti tranzistor *TR* od prevelikih negativnih napona na bazi. Dioda *D*₄ ima također zaštitnu ulogu. Ona čuva tranzistor od razmjerno visokih napona koji se redovito javljaju na zavojnici releja, kadgod se prekida struja što kroz nju teče. U prisutnosti diode *D*₄ taj inducirani napon ne može biti veći od 0,7 V. Na normalan tok električne struje, potrebne za rad releja, ova dioda nema nikakvog uticaja.

Potencijometar *P*₃ treba ugraditi da bismo njime mogli postići potpunu radnu simetriju komparatora. Ona je postignuta kad na priključnici br. 6 nema napona, dokle god nema ni ulaznih napona na *NF* i *ZV*. Za rad ovog VOX-a potreban je dvojni izvor napajanja, s dva napona: »+15 V« i »-15 V«. Oni mogu biti i malo manji, ali glavno je da bude jedan pozitivan a drugi negativan i da su jednaki. Inače se ne bi mogla, sa *P*₃, postići potpuna simetrija, potrebna za pravilan rad integriranog sklopa IL741 u ulozi komparatora.

FREKVENTNA MODULACIJA

PRINCIP I SVOJSTVA FREKVENTNE MODULACIJE

Kao što se nekom valu nosiocu može mijenjati amplituda, tako se može — u svrhu modulacije — mijenjati i njegova frekvencija ili faza. Mijenjanjem amplitude postiže se amplitudna modulacija. Mijenja li se frekvencija ili faza postiže se *frekventna ili fazna modulacija*.

Frekventna i fazna modulacija nisu jedna o drugoj neovisne. Ako se mijenja frekvencija, mora se mijenjati i faza oscilacija i obrnuto. Razlika je pretežno u definiciji i u tome na što djelujemo modulatorom. *Direktnu frekventnu modulaciju* redovito postižemo djelovanjem na *oscilator*. Fazna se modulacija može postići tako da se modulatorom djeluje na neki od *kasnijih stupnjeva* u predajniku. Na kraju se opet postiže frekventno moduliran signal pa *faznu modulaciju* nazivaju i *indirektnom frekventnom modulacijom*.

I kod frekventne modulacije se pojavljuju bočni pojasi. Budući da emitirana snaga signala ostaje i kod najjače modulacije konstantna, bočni pojasi uzimaju svoju snagu od vala nosioca. Val nosilac kod frekventne modulacije zato ne može ostati konstantan. On se za vrijeme modulacije to jače mijenja, što su bočni pojasi jači: kod snažnije modulacije može se i faza vala nosioca promijeniti u odnosu na onu bez modulacije. U svakom momentu amplituda i faza vala nosioca, zajedno sa amplitudama i fazama svih bočnih pojasa, daje stalnu ve-

ličinu pa je ukupna emitirana snaga sa modulacijom jednaka onoj snazi koju predajnik emitira i onda dok modulacije nema.

Emitiranjem se signalu mijenja frekvencija u ritmu modulacije. Ako je, npr. modulacijska frekvencija (f_{NF}) 1000 Hz, mijenjat će se frekvencija vala nosioca u tome ritmu. To znači da frekvencija emitiranog signala postaje svake sekunde 1000 puta viša i 1000 puta niža od neke srednje frekvencije (F_0). Veličina promjene frekvencije zavisi o amplitudi niskofrekventnog signala. Što je on jači, bit će i promjena frekvencije (ΔF), tzv. *devijacija*, veća. Ova devijacija kod FM-radiofonije iznosi *prosječno* oko ± 30 kHz, pa je manja kad je modulacija tiša i veća kad je modulacija glasnija, sve do ± 50 kHz. Pojedinačni »vrhovi« modulacije mogu doseći i devijacije ± 75 kHz. Sa jednakom devijacijom mogu se prenijeti i niske kao i najviše modulacijske frekvencije. Zato je frekventna modulacija, kraće pisano *FM*, veoma pogodna za visokokvalitetan prenos muzike. U tu svrhu je, kako ćemo vidjeti, potreban znatno širi opseg frekvencija (širi prenosni »kanal«) nego kod amplitudne modulacije.

Širina »kanala«, tj. *opseg frekvencija* s jedne i s druge strane vala nosioca, ovisi kod amplitudne modulacije samo o modulacijskoj frekvenciji i iznosi $2f_{NF}$. To je dva puta toliko, kolika je ona frekvencija s kojom se modulira val nosilac. Kod frekventno moduliranog signala širina kanala (Δf) ovisi i o

modulacijskoj frekvenciji i o veličini devijacije. Približno će biti:

$$\begin{aligned} \dot{S}_k &= 2f_{NF} + 2\Delta F = 2f_{NF} \left(1 + \frac{\Delta F}{f_{NF}} \right) = \\ &= 2f_{NF} (1 + M), \end{aligned}$$

gdje smo umjesto omjera $\Delta F/f_{NF}$ napisali slovo M . Ovu veličinu nazivamo *indeksom modulacije*. Kod FM-radiofonije može se frekvencija vala nosioca promijeniti za iznos devijacije od $\Delta F = 75 \text{ kHz}$, uz najveću modulacijsku frekvenciju od 15 kHz . Omjer ovih dviju veličina daje $75/15 = 5$. To znači da je kod frekventno modulirane radiofonije dopušten modulacijski indeks $M=5$. Za prenos takvog signala potrebno je da unutar izabranog valnog područja bude na raspolaganju »kanal« širok:

$$\dot{S}_k = 2 \cdot 15 (1+5) = 30 \times 6 = 180 \text{ kHz},$$

tj. najmanje 180 kHz širok opseg slobodnih frekvencija, što je moguće pronaći jedino među ultrakratkim valovima, unutar poznatog radiofonijskog UKV opsega (88 do 104 MHz).

Frekventna modulacija uz tako velik modulacijski indeks *nije* pogodna za radioamaterske veze. Za ove potrebe je dopušten modulacijski indeks $M=1$ uz najvišu modulacijsku frekvenciju od 3 kHz ili $M=2$ uz najvišu modulacijsku frekvenciju od $2,5 \text{ kHz}$. To znači da u prvom slučaju maksimalna devijacija smije iznositi također 3 kHz ($\pm 3 \text{ kHz}$), a u drugome do $\pm 5 \text{ kHz}$. Potrebna širina »kanala« ne smije, naime, biti mnogo veća od one koja bi bila potrebna za amplitudno moduliran signal. Ona iznosi:

$$\begin{aligned} \text{ako je } M=1 \text{ i } f_{NF}=3 \text{ kHz; } \dot{S}_k &= 2 \cdot 3 (1+1) = 6 \times 2 = 12 \text{ kHz, a ako je } \\ M=2, \text{ uz } f_{NF}=2,5 \text{ kHz; } \dot{S}_k &= 2 \cdot 2,5 \\ (1+2) &= 5 \times 3 = 15 \text{ kHz.} \end{aligned}$$

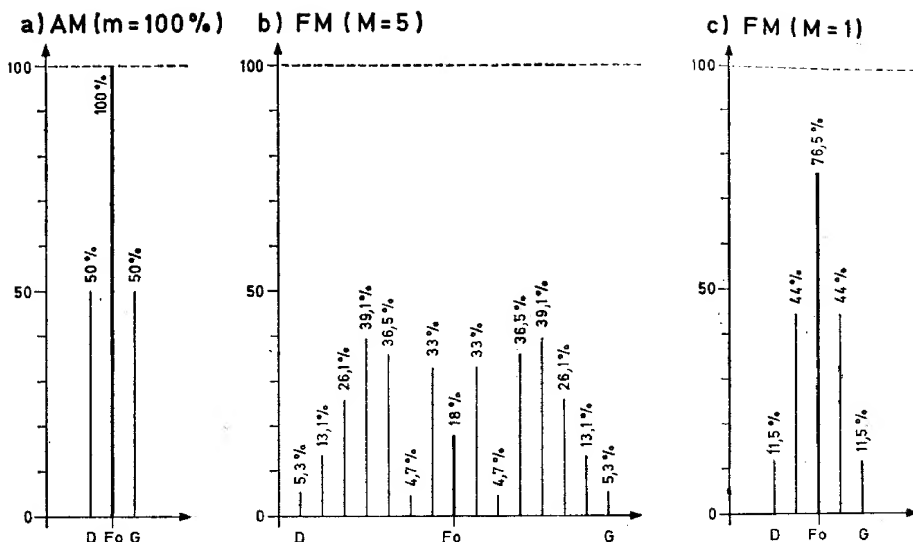
Modulacija višim frekvencijama ili većim devijacijama prouzročila bi emisiju veoma širokog signala. Ovaj bi unutar amaterskih opsega zauzimao suviše »mjesta«. Osim toga signal takve širine ne bi mogao »proći« ni kroz međufrekventna po-

jačala »običnih« prijemnika za amaterske veze, što bi imalo kao posljedicu znatna izobličenja. Do demodulatora treba, uz val nosilac, stići sve što signalu pripada!

Odnos između amplitudno moduliranog i frekventno moduliranog signala prikazuje sl. 15-1. Ona vrijedi za modulaciju *jednom* sinusoidalnom niskom frekvencijom. Uz stopostotnu amplitudnu modulaciju ($m=100\%$), kako znamo od ranije gornja (G) i donja (D) bočna frekvencija udaljene su od vala nosioca za iznos niske frekvencije, na jednu i na drugu stranu. Svojom amplitudom one dosižu, samo polovinu amplitude vala nosioca. Ovaj se pri tome ne mijenja.

Iako je za frekventnu modulaciju bio upotrebljen niskofrekventni signal *samo jedne* frekvencije, s jedne i s druge strane vala nosioca nižu se brojne gornje i donje bočne frekvencije. Ako je modulacijska frekvencija bila f_{NF} , gornje, bočne frekvencije su, za f_{NF} , $2f_{NF}$, $3f_{NF}$, $4f_{NF}$, i tako redom, više od frekvencije vala nosioca. Donje bočne frekvencije slijede jedna za drugom na isti način i one su niže od frekvencije vala nosioca. Pri tome, za razliku od amplitudne modulacije, val nosilac kod signala koji je frekventno moduliran ne ostaje konstantan. Sl. 15-1b vrijedi za indeks modulacije $M=5$, a sl. 15-1c za indeks modulacije $M=1$. Vidimo da je *frekventno modulirani signal širi* od amplitudno moduliranog signala. Broj bočnih frekvencija je, teoretski, beskonačan. Na sreću, amplituda bočnih frekvencija višeg reda postaje sve manja. Nacrtane su samo one kojima je amplituda viša od 5% . Ranije navedene približne formule za širinu potrebnog prenosnog kanala vrijede, međutim, ako se uzmu u obzir samo one bočne frekvencije kojima amplituda dosiže barem 10% vrijednosti koju ima nemodulirani val nosilac. Ovo treba uzeti u obzir.

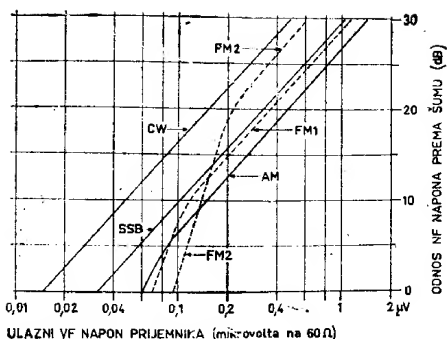
Kod frekventne modulacije postoji, dakle, potreba *ograničenja de-*



Sl. 15-1. Bočne frekvencije uz modulaciju jednom niskom frekvencijom: a) kod amplitudne modulacije uz $m=100\%$; b) kod frekventne modulacije uz indeks $M=5$; c) kod frekventne modulacije uz indeks $M=1$

vijacije i ograničenja zvučnog spektra koji se prenosi. To se može riješiti specijalnim modulatorima. Takvi modulatori zato ne mogu biti tako jednostavni kao za amplitudnu modulaciju. Nasuprot ovoj tehničkoj »komplikaciji«, frekventna modulacija — zbog emitiranog signala koji ima konstantnu ukupnu snagu — omogućuje primjenu ekonomičnih pojačala C-klase, i što je najvažnije, veoma smanjuje smetnje koje bi amaterski predajnik mogao proizvesti u susjednim radio-prijemnicima (BCI), televizorima (TVI) ili niskofrekventnim pojačalima. U predajniku nije za FM potreban snažan i skup modulator, ali zato se za kvalitetan prijem FM-signalna traži da prijemnik bude specijalno građen. Najbolji se rezultati postižu prijemnicima koji imaju dobre limitere (za ograničenje amplitude primljenog signala) i specijalne FM-demodule, što za amatersku samogradnju predstavlja zahtjev za većim stručnim znanjem.

Želimo li uporediti frekventnu modulaciju sa drugim VF telekomunikacijskim tehnikama, potrebno je ispitati različite vrste signala uz određene uvjete. Dijagram na sl. 15-2 načinjen je tako da je za svaku vrstu signala bio upotrebljen savremen prijemnik takve selektivnosti koja upravo odgovara za postizavanje najboljeg odnosa signal/šum. Tako je prijemnik za CW imao propusni opseg međufrekventnog pojačala širok 500 Hz, za SSB 2,5 kHz, za AM 5 kHz, za FM1 10 kHz i za FM2 15 kHz. Pri tome je maksimalna modulacijska frekvencija za sve telefonijske prenose bila 2500 Hz. Sa FM1 označena je frekventna modulacija kojoj je indeks modulacije bio $M=1$, a sa FM2 ona sa modulacijskim indeksom $M=2$. Krivulje prikazuju ovisnost odnosa NF napona prema šumu, na izlazu prijemnika, u ovisnosti o ulaznom VF naponu na antenskoj priključnici (u mikrovoltima na ulaznoj impedanciji od 60 Ω). Tu vidimo da je kod jačih signala od-



Sl. 15.2. Ovisnost odnosa NF napona prema šumu o VF naponu na ulazu prijemnika za različite vrste signala. Objašnjenja u tekstu

nos signal/šum za FM bilo koje vrste bolji nego za AM. Kod slabijih signala frekventno modulirani signal sa $M=1$ ima prednost (zbog selektivnijeg prijemnika!) pred onim sa $M=2$. Konačno kod vrlo slabih signala, kada prijemnik nije više u mogućnosti da ograniči amplitudu, odnos signal/šum kod FM signala postaje lošiji i od AM i od SSB i od CW signala. Kod sasvim slabih signala, a to za radio-amatera znači kod veza na velike daljine (DX), ni FM ni AM ne mogu se uporediti sa SSB-signalima, a osobito ne sa CW telegrafijom.

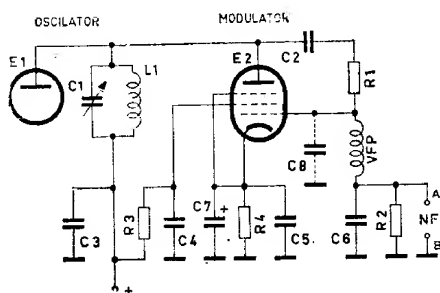
Za rad s telegrafijom ili s telefonijom pomoću SSB-signala potrebni su, dakako, znatno selektivniji uređaji koji moraju, osim toga, imati izvanredno stabilne oscilatore. Za FM-telefoniju nije potrebna takva ekstremna stabilnost. Dovoljna je selektivnost koja se postiže razmjerno jeftinijim sredstvima, na načine koji su poznati iz AM-tehnike, dok se — uz istovremeno manje smetnje okolini — frekventnom modulacijom mogu, specijalnim prijemnicima, postići znatno bolji rezultati nego amplitudnom modulacijom. Ovo vrijedi, razumije se, za veze na umjerene udaljenosti, kao što su to, recimo, veze sa vozilima ili veze unutar različitih radio-mreža.

MODULATORI FREKVENCIJE

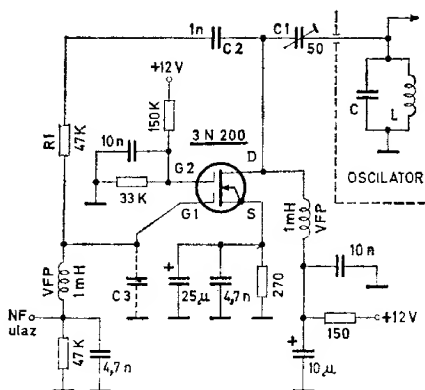
Direktna frekventna modulacija

Ima mnogo načina na koji se može mijenjati frekvencija nekog oscilatora, ali svi se načini svode ili na promjene kapaciteta ili na promjene induktiviteta. Ove promjene moraju slijediti modulacijsku frekvenciju ali bez utjecaja na srednju frekvenciju.

Elektronska cijev E_2 (sl. 15-3) spojena je paralelno s titrajnim krugom L_1C_1 nekog oscilatora. Ako se mijenja prednapon njene prve mrežice, uslijed toga što tamo dovodimo niskofrekventni signal (NF), mijenjat će se frekvencija oscilatora. Pri tome kondenzator C_2 sprečava da pozitivni potencijal anode dođe na prvu mrežicu. Sa C_3 je označen ulazni kapacitet same cijevi. Vrijednost otpora R_1 mora biti velika u odnosu prema kapacitivnom otporu (reaktanciji) kapaciteta C_8 . Na taj će način jakost VF struje koja teče kroz serijsku R_1C_8 uglavnom ostati u fazi sa VF naponom koji vlada na titrajnom krugu L_1C_1 . To se ne može reći za sam kapacitet C_8 , jer ovdje napon u fazi zaostaje iza struje za 90° . Jakost anodne



Sl. 15-3. Reaktancijski modulator za FM sa pentodom. L_1C_1 =titrajni krug oscilatora. $C_2=C_3=1$ nF; $C_1=C_5=C_6=4,7$ nF; $C_7=10$ μF/6 V; C_8 =ulazni kapacitet cijevi E_2 ; $R_1=47$ kΩ; $R_2=470$ kΩ; R_3, R_4 =otpornici prema tipu cijevi za rad u klasi A; VFP=prigušnica 2,5 mH



Sl. 15-4. Reaktancijski modulator za FM sa MOSFET tranzistorom 3N200. Po svome djelovanju ovaj modulator je sličan predašnjem

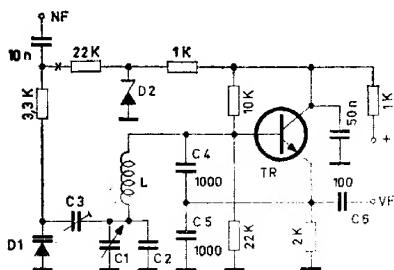
struje ovisi o naponu na prvoj mrežici, pa će zato VF anodna struja biti u fazi sa VF naponom na mrežici. Prema tome će i anodna VF struja zaostajati u fazi za 90° za onom VF strujom koja teče kroz C_3 , a također, za isti iznos od 90° , zaostajat će u fazi za visokofrekventnim naponom na titrajnom krugu oscilatora. Ova se VF struja iz cijevi E_2 vraća titrajnom krugu L_1C_1 , gdje ima jednak učinak kao da je paralelno sa ovim titrajnim krugom spojen neki *induktivitet*. Elektronska cijev E_2 ponaša se, dakle, kao neka zavojnica kojoj možemo mijenjati induktivitet u ritmu modulacije. Frekvencija oscilatora se zato mijenja proporcionalno sa amplitudom i u ritmu NF modulacije koja je dovedena na prvu mrežicu cijevi E_2 . Cijev E_1 pripada oscilatoru.

Donekle sličan *reaktancijski modulator* prikazan je na sl. 15-4. Umjesto cijevi je upotrebljen tranzistor tipa MOSFET, npr. domaći 3N200. Kondenzator C_1 omogućuje odabiranje čvršće ili slabije veze sa oscilatorom od kojega je nacrtan samo titrajni krug LC . Kapacitet prve gejt-elektrode (G_1) tranzistora obično neće biti dovoljno velik, pa

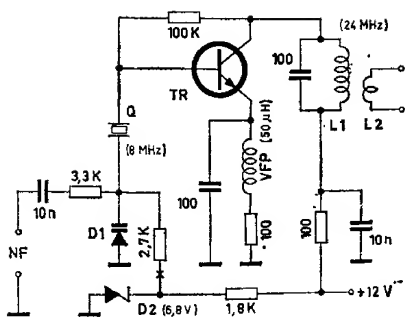
se mora dodati kondenzator C_3 koji po svojoj funkciji odgovara kapacitetu C_3 na predašnjoj slici.

Najjednostavniji frekventni modulator može se načiniti pomoću tzv. *varikap-dioda*, sl. 15-5. Tranzistor TR radi kao stabilan Clapp-ov oscilator. Njegova se frekvencija odabire promjenljivim kondenzatorom C_1 . Tome kondenzatoru je, preko C_3 , paralelno spojena varikap-dioda D_1 . Njen zaporni napon je stabiliziran Zenerovom diodom D_2 . Niskofrekventni signal, NF , djeluje na varikap-diodu mijenjajući joj zaporni prednapon, a time ujedno i njen kapacitet. Ove promjene kapaciteta mogu, ovisno o C_3 , više ili manje utjecati na frekvenciju oscilatora koji tako postaje frekventno moduliran. Devijacija frekvencije je veća ako je niskofrekventni signal jači i ako je trimerski kondenzator C_3 jače zatvoren.

Amaterski UKV predajnici za 144 MHz često imaju u svojim oscilatorima kvarcov kristal kojemu je osnovna frekvencija oko 8 ili 12 MHz. U mnogima od njih taj se kristal pobuđuje u svom »overtonu«, odmah na 24 ili 36 MHz. Frekvencija takvih oscilatora može se donekle »vući«, tj. mijenjati dodatnim kapacitetima. Zato se kvarcov *overtonski oscilator* može frekventno modulirati varikap-diodom na



Sl. 15-5. Frekventna modulacija pomoću varikap-diode. D_1 = varikap-dioda; D_2 = Zenerova dioda za 6 do 8 V



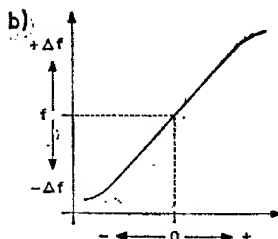
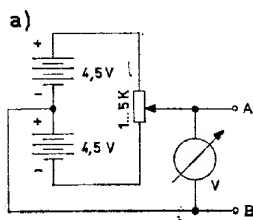
Sl. 15-6. Princip frekventne modulacije kvarcovog oscilatora varikap-diodom

način koji se vidi na sl. 15-6. Varikap-dioda D_1 ima stalan, posebnom Zenerovom diodom D_2 stabiliziran zaporni prednapon. Njen kapacitet se mijenja pod utjecajem niskofrekventnih, modulacijskih napona NF . Promjenljivi kapacitet varikap-diode D_1 nalazi se u seriji s kristalom Q . Zato ove promjene kapaciteta »povlače« frekvenciju kristalnog oscilatora. Dovoljan je niskofrekventni napon od nekoliko volta da se na taj način postigne zadovoljavajuća frekventna modulacija dvometarskog signala. Devijacija frekvencije u samom oscilatoru nije velika, ali se poslije umnožavanja frekvencije do 144 MHz postiže konačna devijacija koja sasvim odgovara potrebama »uskopojasne« frekventne modulacije uz indeks $M=1$ do $M=2$, uz prethodno ogra-

ničenje niskofrekventnog signala na opseg od 300 do 3000 Hz.

Ispravnost rada takvih modulatora, koji direktno djeluju na oscilator, može se ispitati jednostavnim načinom, prema sl. 15-7. Dvije baterije od 4,5 ili 6 V spojene su u strujni krug s potencijetrom (1 do 5 k Ω) i voltmetrom. Dok je klizač potencijetra u sredini, napon između tačaka A i B jednak je nuli. Pomaknemo li klizač prema gore, tačka A postaje pozitivnija od tačke B . Obrnuto je, ako klizač pomaknemo prema dolje. Voltmetar ima nulu obično na jednom kraju svoje skale. Zato će biti potrebno mijenjati njegove priključke, ovisno o polaritetu napona. Tačke A i B treba spojiti na priključnice s jednakim oznakama na sl. 15-3, umjesto niskofrekventnog napona. Na uređaj prema sl. 15-4 tačke A i B spajaju se na sličan način. Kod modulatora s varikap-diodama (sl. 15-5 ili sl. 15-6) treba prekinuti vod koji je označen sa x (križićem) i ondje uključiti promjenljivi napon sa tačkama A i B ispitne sprave, tako da se on dodaje ili oduzima, već prema svome polaritetu, osnovnom prednaponu (tj. čvrstoj vrijednosti zapornog napona) modulatora.

Mijenjajući na taj način napon, možemo istovremeno mjerenjem frekvencije ispitati za koliko se ona mijenja, jesu li te promjene simetrične i koliki je napon potreban da se postigne određena promjena frekvencije (devijacija).



Sl. 15-7. Ispitivanje linearosti rada FM modulatora: a) uređaj za mijenjanje i mjerenje pomoćnog napona; b) izgled krivulje koja pokazuje ovisnost promjena frekvencije o promjeni napona kojim se postiže frekventna modulacija

Fazna ili indirektna frekventna modulacija

Stabilnost frekvencije oscilatora sa povratnom vezom ili kvarcovih oscilatora kod kojih je kristal pobudivan na nekoj svojoj višoj frekvenciji (trećoj ili petoj) ne može zadovoljiti, ako veći broj primopredajnika mora raditi u radiomreži. U takvom slučaju se traži da frekvencija na kojoj se održavaju veze po mogućnosti *ostane dugo vremena* ista, za sve stanice. Frekvencije pojedinih primopredajnika ne smiju se međusobno razlikovati za više od nekoliko stotina Hz. Takva se stabilnost može postići onda ako su u oscilatorima predajnika kvarcovi kristali pobuđeni na osnovnoj frekvenciji. Osim toga se, u interesu što veće stabilnosti frekvencije, ne smije modulariti oscilator.

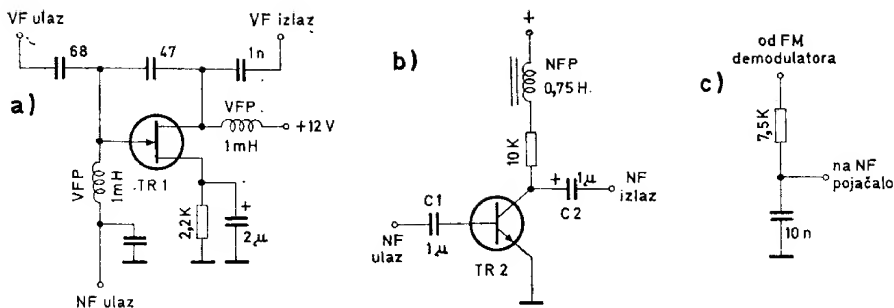
Ako neki od opisanih reaktancijskih modulatora, ili neka varikap-dioda kojoj se mijenja kapacitet, ne djeluje na sam oscilator, već na titrajni krug u nekom stupnju *iza oscilatora*, onda govorimo o faznoj modulaciji. Takvi modulatori djeluju ili kao promjenljiv induktivitet ili kao promjenljiv kapacitet. U svakom slučaju titrajnom se krugu, koji je ugođen na određenu frekvenciju, kviri resonancija. Pri tom će se — u ritmu modulacije — mijenjati i fazni odnosi. Naizmjenice se *faza titraja ubrzava i usporava*. Ovo neizbježno rezultira i mijenjanjem frekvencije.

Devijacija frekvencije, koja se tako postiže, ne ovisi samo o amplitudi modulijske niske frekvencije, već također o njenoj visini i o Q-faktoru titrajnog kruga. *Što je Q-faktor veći i modulijska frekvencija viša, veća je i devijacija*. Titrajni krugovi u predajniku redovito su opterećeni. Njihov Q-faktor je znatno manji nego li bi bio bez opterećenja. Zbog toga je devijacija indirektno postignute frekventne modulacije razmjerno malena. Zato iza fazno modularanog stupnja mora slijediti veći broj stupnjeva

za *umnožavanje frekvencije* da bi se na konačnoj radnoj frekvenciji predajnika mogao postići frekventno modularani signal s potrebnom veličinom devijacije. Osim toga, poradi veće devijacije za više modulijske frekvencije, širina FM-signal postaje veća a govor koji se prenosi na taj način zvuči »limeno«. Da se ta pojava izbjegne, u modulatoru se moraju, u odgovarajućoj mjeri, *oslabiti i ograničiti više modulijske frekvencije*. Ovime se ne smije pretjerati.

Najjače komponente u zvučnom spektru govora su oko 300 do 500 Hz. Komponente viših frekvencija postaju sve slabije pa im se amplituda kod frekvencija iznad 2000 Hz približava amplitudama koje potječu od različitih šumova. Kod tih viših frekvencija može se dogoditi da odnos signal/šum bude, zbog toga, lošiji. Ovo se može izbjeći (osobito za potrebe visokokvalitetnog prenosa muzike) na taj način da u predajniku *više frekvencije* istaknemo (*»pre-emfazis«*). U prijemniku ih moramo onda, u jednakoj mjeri, potisnuti (*»de-emfazis«*). Na sl. 15-8a je shema jednostavnog faznog modulatora, dok na sl. 15-8b vidimo princip isticanja viših frekvencija u predajniku. Na sl. 15-c je jednostavan sklop za njihovo potiskivanje u prijemniku.

Budući da se kod fazne modulacije, u ritmu niskih frekvencija, kviri resonancija, treba očekivati da će se uz frekventnu modulaciju pojaviti i amplitudna, u većoj ili manjoj mjeri. Ovu nepoželjnu amplitudnu modulaciju treba ukloniti nekim sklopom za ograničenje amplitude ili tako da se signal dalje umnožava i pojačava u stupnjevima koji se mogu »zasititi«. To znači da stupnjevi iza fazno modularanoga, koji rade u klasi C, moraju biti dosta snažno pobuđeni, toliko da promjene amplitude pobudnog VF napona ne mogu više bitno utjecati na amplitudu izlaznog signala.

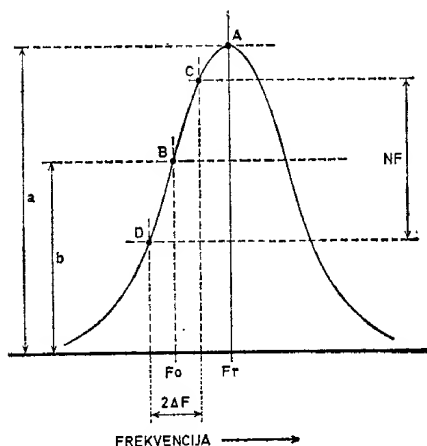


Sl. 15-8. Indirektna ili fazna modulacija. a) jednostavan fazni modulator sa FET-om; b) isticanje visokih frekvencija u modulatoru (»pre-emfazis«); c) potiskivanje visokih frekvencija u prijemniku poslije demodulacije (»de-emfazis«)

DEMOMULACIJA FM SIGNALA

Prijem FM signala običnim prijemnicima

Na sl. 15-9 nacrtana je krivulja resonancije prijemnika koja rezultira iz zajedničkog djelovanja svih njegovih titrajnih krugova. Ona prikazuje kako ovisi jakost ispravljene struje, koju daje diodni demodulator, o frekvenciji. Ta je struja najjača (a) kada se položaj vrha kri-



Sl. 15-9. Princip demodulacije frekventno moduliranog signala na boku krivulje resonancije AM-prijemnika (vidi tekst)

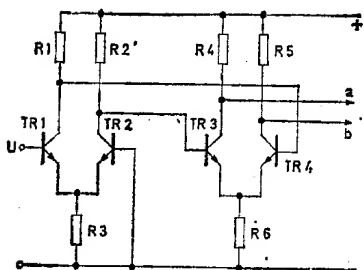
vulje (A) podudara sa resonantnom frekvencijom F_r . Tada i S-metar prijemnika pokazuje maksimalan odklon. Tako se ugađa prijemnik za amplitudno modulirane signale.

Za prijem frekventno moduliranih signala mora se srednja frekvencija signala (F_0) dovesti u sredinu ravnog dijela krivulje resonancije na jednom ili na drugom njenom padajućem kraju, na »boku« (B). Uz devijaciju $\pm \Delta F$, modulacijom izazvane promjene frekvencije iznose $2\Delta F$, tj. od C do D na boku krivulje. Struja koju daje diodni detektor mijenja se pri tome za iznos NF koji pripada demoduliranoj niskoj frekvenciji.

Devijacija FM signala ne smije biti prevelika da ne dođe do izobličenja. Osim toga različiti prijemnici će isti FM signal primati različitom glasnoćom, ovisno o strmini njihovih krivulja resonancije.

Ograničenje amplitude FM signala

Običnim prijemnikom se nikada ne mogu iskoristiti sve prednosti koje može pružiti radio-veza frekventnom modulacijom. Prijemnik za frekventno modulirane signale mora omogućiti da se prije demodulacije uklone sve promjene amplitude, bez obzira na to da li su one, zajedno sa FM signalom, došle od predajnika ili su nastale uslijed



Sl. 15-10. Dio integriranog među-frekventnog pojačala sa ograničenjem amplitude. Objašnjenje u tekstu

fadinga ili zato što u prijemnik sa signalom koji želimo primiti stižu i različite impulsne smetnje velikih amplituda.

U tranzistorskim međufrekventnim pojačalima, osobito ako su ona dio integriranih sklopova za prijem FM-signal, najbolja se ograničenja amplitude postižu nizovima diferencijalnih pojačala s tranzistorskim parovima, kao na sl. 15-10. Na ulaz pojačala U dolazi signal koji se najprije pojačava tranzistorom TR_1 . Preko zajedničkog emitterskog otpora R_3 na tranzistor TR_2 stiže isti signal, ali sa suprotnom fazom. Pojačani signal javlja se na R_1 i R_2 , također sa suprotnim fazama i vodi dalje u sličan tranzistorski par, TR_3 i TR_4 , da se dalje pojačava. Ubrzo *amplituda signala* postaje prevelika tako da se ne može dalje pojačavati i, iza više takvih tranzistorskih parova, *ostaje konstantna*.

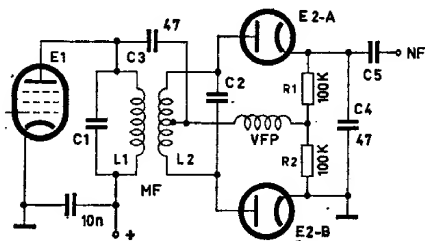
Specijalni FM demodulatori

Devijacija koja iznosi, npr. samo 5 kHz je u odnosu na frekvenciju vala nosioca u dvometarskom UKV opsegu (145 MHz) 29.000 puta manja. Titrajnim krugom, koji resonira na ovu UKV frekvenciju, takva se devijacija ne može zamjetiti. Zato specijalni demodulatori frekventno moduliranih signala iskorištavaju *promjene faze oscilacija*. Faza oscilacija u titrajnom krugu,

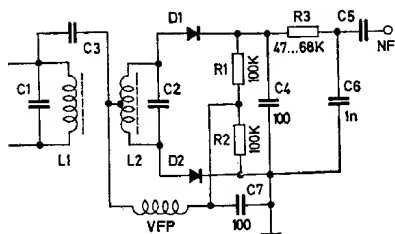
svojim promjenama, znatno jače reagira na male promjene frekvencije u blizini resonancije.

FM demodulator, poznat pod imenom *diskriminator*, vidimo na shematskom prikazu na sl. 15-11. Konstruirali su ga Foster i Seeley, a osniva se na činjenici da fazna razlika visokofrekventnih napona na titrajnim krugovima L_1C_1 i L_2C_2 kod resonancije iznosi 90° i da se frekventnom modulacijom mijenja. Ovi titrajni krugovi pripadaju međufrekventnom bandfilteru koji se uključuje iza posljednjeg stupnja međufrekventnog pojačanja s pentodom E_1 ili nekim tranzistorom.

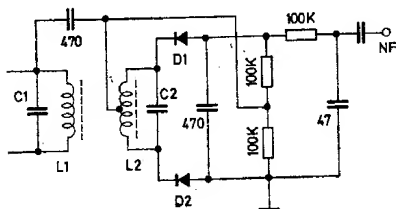
Primarni VF napon dovodi se preko C_3 na srednji izvod zavojnice sekundarnog titrajnog kruga. Kod resonantne frekvencije na obje diode dolaze jednaki naponi. Zato su onda i ispravljeni istosmjerni naponi, koji se iza dioda javljaju na otpornicima R_1 i R_2 također međusobno jednaki. Budući da su polariteti ovih napona suprotni oni se poništavaju i tako na krajevima kondenzatora C_4 nema nikakvog napona. Drugačije je, međutim, ako se frekvencija promijeni, ako je npr. val nosilac frekventno moduliran. Ako napon na jednome od otpornika, recimo na R_1 postaje veći, na drugome će se smanjiti. Na kondenzatoru C_4 tada nastaje napon koji je proporcionalan sa promjenom frekvencije. Ako ova frekvencija u ritmu modulacije postaje čas viša, čas niža, na izlazu



Sl. 15-11. Diskriminator za demodulaciju FM signala (Foster-Seeley). Dvostruka dioda može biti EAA 91 ili slična



Sl. 15-12. Diskriminatorski demodulator za FM signale. Upotrebijene su poluvodičke diode D_1 i D_2 . Vidi tekst



Sl. 15-13. Pojednostavljena shema diskriminatora

se pojavljuje izmjenični napon iste frekvencije, tj. demoduliran NF signal.

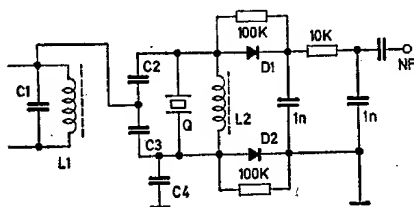
Diskriminatoru sa elektronskim diodama (sl. 15-11) odgovara diskriminator s poluvodičkim diodama na sl. 15-12. Titrajni krugovi L_1C_1 i L_2C_2 na jednak su način međusobno kapacitivno vezani. I diode D_1 i D_2 su svojim anodama spojene na krajeve zavojnice L_2 . Kao dodatak ovdje vidimo otpornik R_3 i kondenzator C_6 . To je filterski član koji ima zadatak da ukloni ostatke visokih frekvencija i da im tako spriječi odlazak u niskofrekventno pojačalo, preko C_5 . Tu se ujedno oslabljuju i najviše frekvencije zvučnog područja u svrhu bolje reprodukcije (»de-emfazis«). Kondenzator C_7 , preko kojega je sredina između otpornika R_1 i R_2 »blokirana« na »masu«, pomaže filter-skom učinku visokofrekventne pri-gušnice VFP.

U djelovanju diskriminatora se ništa bitno ne mijenja ako su diode

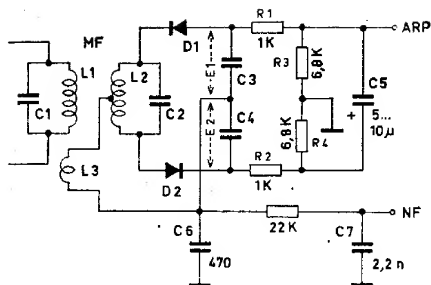
drukčije orijentirane, kao na sl. 15-13. Kako vidimo, ovdje je shema diskriminatora pojednostavljena redukcijom nekih sastavnih dijelova, što pojedine tvornice čine zbog štednje.

Da bi se i uz malu devijaciju frekvencije, koja se prima, dobili jači niskofrekventni naponi, može se umjesto titrajnog kruga staviti kvarcov kristal. Titrajni krugovi imaju, naime, sve lošiji Q-faktor i sve »tuplju« resonanciju, što je frekvencija viša. Ako je, dakle, u nekom prijemniku međufrekven-cija razmjerno visoka, oko 9 ili oko 10,7 MHz, kvarcov kristal na tak-voj frekvenciji će u diskriminato-ru, prema sl. 15-14, dati veće izlazne NF napone nego li bi to bilo mo-guće postići s normalnim titrajnim krugom.

Želimo li ugoditi diskriminator, potreban nam je običan signalge-nerator koji daje amplitudno mo-duliranu međufrekvenciju. Najprije ugodimo primarni titrajni krug L_1C_1 tako da se modulacija najgla-snije čuje. Zatim ćemo, ne dirajući frekvenciju signalgeneratora ugo-di-ti i drugi titrajni krug L_2C_2 . Što se više približavamo resonanciji, signal postaje sve tiši. Kad smo po-stigli minimum glasnoće, diskrimi-nator je ugođen. Pri tome možemo glasnoću ocijeniti sluhom ili, što je bolje, možemo mjeriti napon na krajevima kondenzatora C_4 pomoću voltmetra sa što većim unutarnjim otporom. Kad su oba titrajna kruga tačno ugođena na resonanciju na-pon bi morao biti jednak nuli ili barem što niži.



Sl. 15-14. Diskriminator kod kojega je upotrebljen kvarcov kristal. Vidi tekst



Sl. 15-15. Shema ratio-detektora za FM-sig-nale

Najčešće upotrebljavani FM demodulator, osobito u običnim radio-aparatima za prijem UKV radiofoni-je, svakako je tzv. *ratio detektor* (prema engleskom neki izgovaraju »rejšijo detektor«, ali je dobro i prema latinskom: »ratio detek-tor«). On spada među demodulato-re koji sami doprinose ograničenju amplitude. Unatoč toga možemo ispred ratio detektora naći limiter. Njegova linearnost nije tako dobra kao linearnost Foster-Seeley-evog diskriminatora, ali mu je zato osjetljivost mnogo veća. Prijemnik koji ima ratio detektor može u međufrekventnom pojačalu imati jedan stupanj manje!

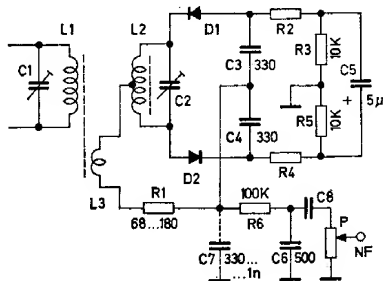
Shema ratio detektora je na sl. 15-15. Odmah upada u oči stanovit-a sličnost s diskriminatorom. Gleda-jući na brzinu, opazit ćemo da su glavne razlike u prisutnosti elektro-litskog kondenzatora C_5 i u tome što je jedna od dioda »okrenuta«; osim toga se niskofrekventni sig-nal orpe na drugom mjestu. Una-toč prividno malih razlika, ratio detektor sasvim drugačije radi! Ako napon koji nastaje na konden-zatoru C_3 označimo sa E_1 , a napon na kondenzatoru C_4 sa E_2 , bit će napon na koji se nabije elektro-litski kondenzator C_5 uglavnom jed-nak zbroju ($E_1 + E_2$). Ova se veliči-na ne može mijenjati u ritmu mo-dulacije, jer je kapacitet konden-zatora C_5 zato prevelik, obično iz-među 5 i 10 μF . Kod srednje frek-

vencije FM signala, koja je u pri-jemniku jednaka međufrekvenciji, naponi E_1 i E_2 međusobno su jed-naki. Njihov zbroj je proporcional-an sa amplitudom VF signala. Za-to se sa kondenzatora C_5 može uzi-mati pomoćni napon automatske regulacije pojačanja (ARP) prijem-nika, kao i za pogon S-metra.

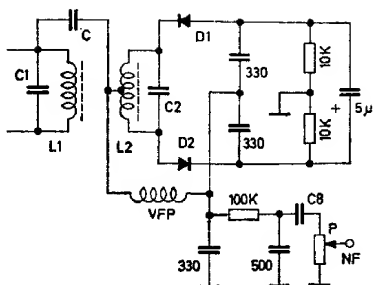
Mijenja li se frekvencija signala zbog modulacije, mijenja se omjer napona E_1/E_2 . Otuda ovom FM de-modulatoru ime (latinski: »ratio«, čitaj: »ratio«, ovdje znači: »om-jer«). Rezultirajući niskofrekventni, demodulirani signal koji se uzima sa srednje tačke između kondenza-tora C_3 i C_4 proporcionalan je devi-jaciji frekvencije.

Budući da je zbroj napona ($E_1 + E_2$) konstantan, zahvaljujući velikom kapacitetu kondenzatora C_5 , ovaj je sklop razmjerno ne-osjetljiv za brze promjene ampli-tude signala koji primamo. Zbog toga se ratio detektor često upo-trebljava bez ikakvog prethodnog ograničenja amplitude. Ipak je bo-lje ako se ispred njega stavi neki pogodan limiter.

Ratio-detektor, sl. 15-16, razliku-je se od predašnjeg uglavnom po tome što ima bolju filtraciju de-moduliranih niskofrekventnih stru-ja (R_1 , C_7 , R_6 , C_8). Na shemi, sl. 15-17, je drukčija varijanta ratio-detektora. Veza između titrajnih krugova L_1C_1 i L_2C_2 je kapacitivna. Umjesto otpornika R_1 (sl. 15-16)



Sl. 15-16. Druga varijanta ratio-de-tek-tora



Sl. 15-17. Treća varijanta ratio-detektora. Umjesto induktivne veze između titrajnih krugova upotrijebljena je kapacitivna

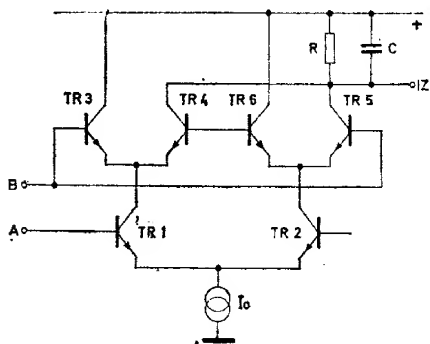
stavljena je visokofrekventna pri-gušnica VFP. Osim toga su ispušteni otpornici R_2 i R_4 . Ostalo je samo $2 \times 10 \text{ k}\Omega$, što ne predstavlja neku bitnu promjenu, ako su samo oba ova otpornika podjednakih vrijednosti ($\pm 5\%$).

Za ugađanje ratio detektora potreban je signalgenerator koji daje nemoduliranu međufrekkvenciju. Najprije spojimo osjetljivi voltmetar (sa što većim unutrašnjim otporom) na krajeve elektrolitskog kondenzatora. Primarni titrajni krug međufrekventnog bandfiltera L_1C_1 , ugodimo tako da voltmetar pokazuje maksimalan napon. Taj mora biti maksimalan i onda kad se i L_2C_2 ugodu na resonanciju. Poslije toga isti voltmetar priključimo između tačke NF (sl. 15-15) i uzemljenja. Popravljajući resonanciju titrajnog kruga L_2C_2 moramo postići da kazaljka voltmetra padne na nulu. Na kraju možemo još na signalgeneratoru uključiti amplitudnu modulaciju i vrijednosti otpornika R_1 i R_2 odabrati tako da se modulacija najslabije čuje.

Za neke ranije vrste FM demodulatora bile su konstruirane specijalne elektronske cijevi, kao EQ 80 ili 6BN6, koje su radile na principu »koincidencije«. Nazivali su ih i kvadrturnim demodulatorima. Danas se koincidentni demodulatorski princip redovito primjenjuje

u najmodernijim integriranim sklopovima koji su načinjeni upravo za prijem frekventno moduliranih signala. Predviđeni su za ugradnju u različite vrste prijemnika kao i u tonski dio televizora. Taj princip ćemo objasniti pomoću sl. 15-18. Ovdje vidimo prikaz demodulatorskog dijela u takvim integriranim sklopovima.

Konstantna struja I_0 grana se najprije kroz tranzistor TR_1 i TR_2 , a zatim još i kroz tranzistore TR_3 i TR_4 , te kroz tranzistore TR_5 i TR_6 . Na ulaz A i na ulaz B dovodi se isti međufrekventni signal, ali sa međusobnom faznom razlikom od 90° . Takva fazna razlika je već bila spomenuta i uz FM-diskriminator po Fosteru i Seeley-u. Ulazni visokofrekventni naponi U_A i U_B na sl. 15-19 prikazani su kao četvrtasti, što približno odgovara s obzirom na prethodno ograničenje amplitude. Frekvencija im je ista (jednako vrijeme titraja T), ali pomak u fazi je $\psi=90^\circ$. Proučavajući ponašanje tranzistora koji su izloženi djelovanju takvih napona (sl. 15-18) mogli bismo zaključiti da će kroz otpornik R teći zajednička kolektorska struja tranzistora TR_4 i TR_5 samo onda i samo tako dugo, dok istovremeno postoji jednako stanje na ulazu A i na ulazu B, dok ta stanja koincidiraju. Rezultat toga je niz impulsa polovične širine i dvostruke frekvencije ($T=2T'$). Ovi impulsi



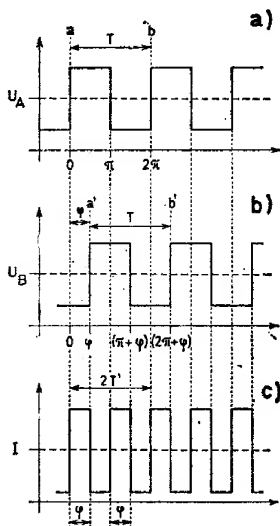
Sl. 15-18. Princip integriranog »koincidentnog« demodulatora

si će nabiti kondenzator C na neki srednji napon.

Za vrijeme modulacije se frekvencija signala mijenja od F_0 naviše i naniže za $\pm \Delta F$. Zato ni fazna razlika ne ostaje 90° već u ritmu niske frekvencije postaje veća ili manja, prema sl. 15-20. Zato će i izlazni impulsi demodulatora (sl. 15-19c), koji nabijaju kondenzator C , postajati širi ili uži, ovisno o φ . Kondenzatoru će se naboj povećavati i smanjivati u ritmu niske frekvencije koju možemo kod I_Z odvesti iz demodulatora (sl. 15-18).

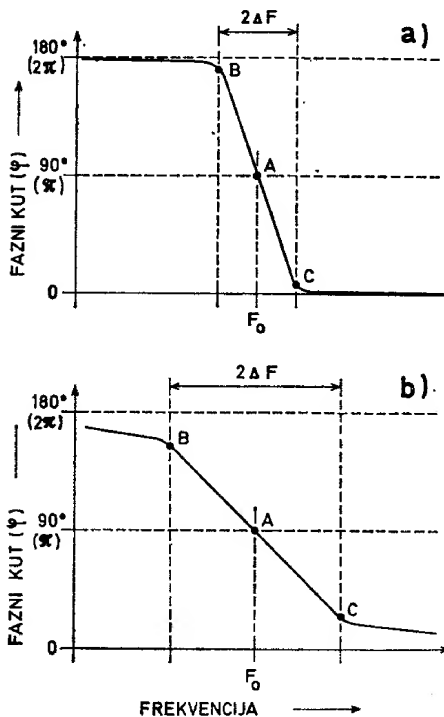
Prijemni adapter za frekventnu modulaciju

Prijemni adapter, kojemu je shema na sl. 15-21, omogućuje da

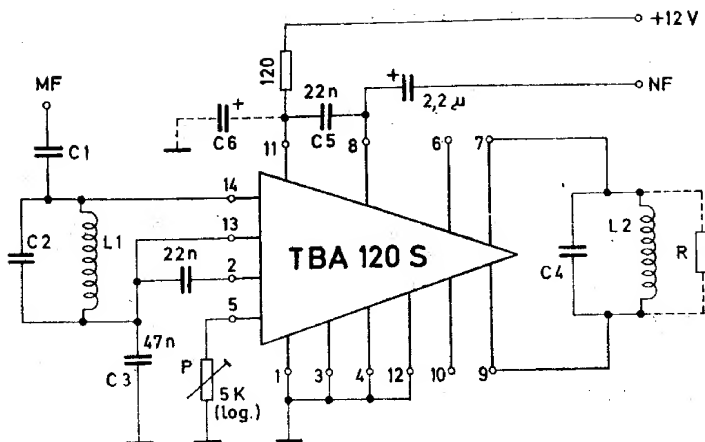


Sl. 15-19. Uz objašnjenje demodulacije FM signala »koincidentnim« demodulatorom: a) ulazni VF signal U_A i b) ulazni signal U_B jedan prema drugome pomaknuti u fazi za kut φ ; c) jakost struje I koja teče kroz otpornik R (sl. 15-18) sastavljena je od impulsa dvostruke frekvencije. Trajanje pojedinog impulsa ovisi o faznom kutu

se i svaki stariji UKV prijemnik za AM pretvori u prijemnik za FM. Uspjeh je osiguran upotrebom integriranog sklopa TBA 120 S koji se i kod nas proizvodi. U njemu je sadržana vlastita stabilizacija napona, FM pojačalo sa ograničenjem amplitude, koincidentni demodulator FM signala, sklop za regulaciju glasnoće (sl. 15-22), te još jedan slobodni tranzistor i Zenerova dioda za 12 V (sl. 15-23). Sklop za pojačanje međufrekvencije sličan je onome na sl. 15-10, dok demodula-



Sl. 15-20. Visokofrekventne oscilacije u titrajnom krugu su kod resonancije (F_0) za fazni kut $\varphi = 90^\circ = \pi$ pomaknute prema onim VF oscilacijama koje ih pobuđuju. Ako se mijenja frekvencija, mijenja se i ta razlika u fazi: a) fazni kut se mijenja brže uz veći Q-faktor titrajnog kruga; b) promjene su sporije ako je Q-faktor manji



Sl. 15-21. Principijelna shema upotrebe integriranog sklopa TBA 120 S za međufrekventno pojačanje, za ograničenje amplitude i za demodulaciju FM signala. L_1C_2 je ulazni MF titrajni krug; L_2C_4 je titrajni krug za dodatni pomak faze. Otpornikom R može se, ako treba, povećati prigušenje i smanjiti Q -faktor (za signale sa većom devijacijom)

tor radi na način koji smo, u principu, opisali uz sl. 15-18.

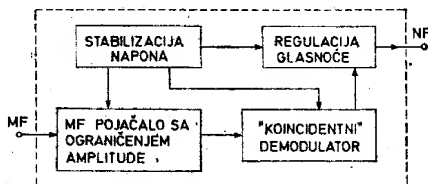
Vanjski izgled »integrirca«, zajedno sa rasporedom ostalih dijelova je na sl. 15-24. Sve stane na pločicu sa »štampanim« vodovima veličine 55×35 mm (sl. 15-25) prema sl. 15-26. Međufrekventni titrajni krugovi mogu biti za međufrekvencije od 10,7 MHz pa sve do 455 kHz, ovisno o prijemniku na koji će taj adapter biti priključen.

Za ugradnju u prijemnik treba pronaći stupanj za miješanje (sl. 15-27) i oklopljenim koaksijalnim kablom (ne mikrofonskim!!) spojiti ulazne priključnice adaptera tako da srednji vodič kabela bude direktno vezan na kolektor tranzistora za miješanje. Priključni kabl svojim kapacitetom malo pokvari ugađanje MF transformatora koji slijedi iza stupnja za miješanje. Zato se mora njegovo ugađanje napraviti.

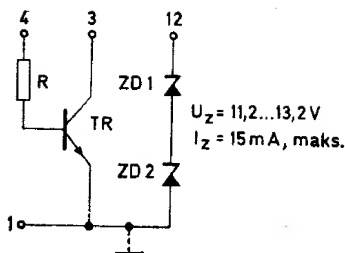
Redovito ćemo htjeti da za regulaciju glasnoće koristimo isti potencijometar koji je ugrađen u prijemnik. Zato ćemo u adapter, umjesto potencijometra P , staviti

otpornik od 4,7 kΩ i NF izlaz adaptera odvesti na preklopnik a/b . Kontaktom a se preklapa po želji FM ili AM prijem. Istovremeno s prebacivanjem kontakta a u položaj za FM, na adapter se spaja pogonski napon (+12 V preklopnikom b).

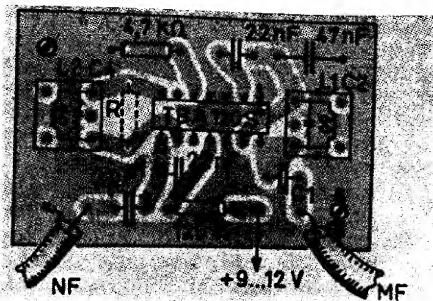
Ugađanje adaptera treba izvršiti sa *v-r-l-o s-l-a-b-i-m* frekventno moduliranim signalom. Oba adapterova MF titrajna kruga treba jednostavno ugoditi na maksimalnu glasnoću prijema. Ako se, vrteći jezgriцу ulaznog MF titrajnog kru-



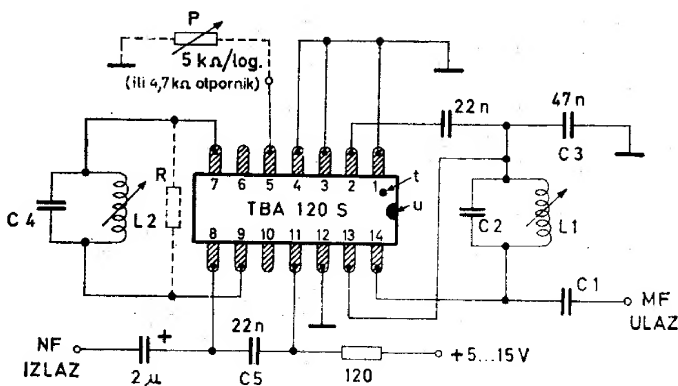
Sl. 15-22. Osim MF pojačala i koincidentnog demodulatora, integrirani sklop TBA 120S sadrži i vlastitu stabilizaciju napona i elektroničku regulaciju glasnoće



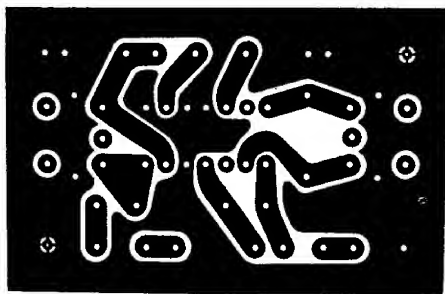
Sl. 15-23. Dodatni, neupotrebljeni tranzistor i slobodna Zenerova dioda u integriranom sklopu TBA 120S



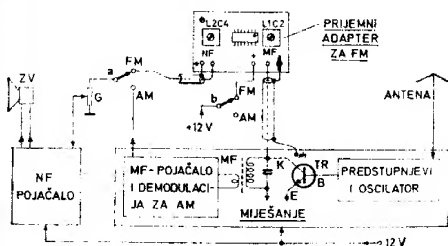
Sl. 15-26. Raspored dijelova na gornjoj strani pločice prijemnog adaptera za FM



Sl. 15-24. Shematski prikaz rasporeda sastavnih dijelova i priključci integriranog sklopa TBA 120S u prijemnom adapteru za FM. Za brojanje priključnica (1 do 14) treba »integrirac« orijentirati kako je nacrtano, pažeći na položaj utora »u« ili tačkice »t«



Sl. 15-25. Pogled na bakrenu foliju »stampane« pločice, formata 55×35 mm, za gradnju prijemnog adaptera za FM (donja strana)



Sl. 15-27. Ovako treba priključiti prijemni adapter za FM-sigale u postojeći UKV prijemnik za AM. Objašnjenja u tekstu

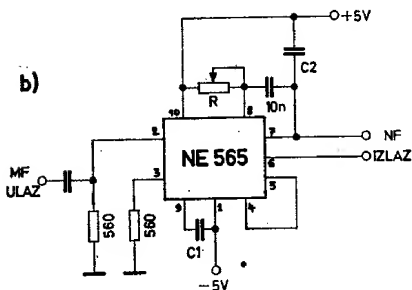
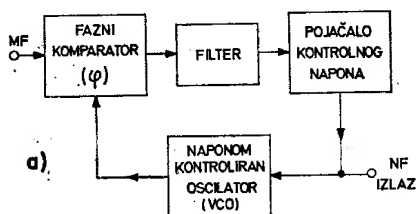
ga L_1C_2 , ne bi mogao naći maksimum, onda je to redovito zato jer je signal *prejak* pa već dolazi do ograničenja amplitude. Tada je potrebno ugađati *sa još slabijim signalom*, upravo *sa neobično slabim signalom!*

Razumije se da isti integrirani sklop može biti direktno ugrađen u FM-prijemniku. On bi tamo radio kao međufrekventno pojačalo i kao demodulator za FM signale.

PLL demodulator za frekventno modulirane signale

O PLL (*»Phase-Locked-Loop«*) kontroli frekvencije smo već govorili u poglavlju o visokofrekventnim oscilatorima. Tamo je i sl. 8-27, uz prikaz PLL principa. Isti se princip može iskoristiti i za demodulaciju frekventno moduliranih signala.

Blok-shema na sl. 15-28a pokazuje da međufrekventni signal, koji



Sl. 15-28. PLL-demodulator za frekventnu modulaciju: a) blok shema; b) PLL-demodulator sa integriranim sklopom NE565. Vidi tekst

je već u MF pojačalu dobio potrebnu amplitudu (koja je istovremeno i ograničena na potreban stalan iznos), kod MF ulazi u *fazni komparator*. U isti komparator stiže i frekvencija iz naponom kontroliranog oscilatora (VCO). Fazni komparator upoređuje te dvije frekvencije. Doklegod su one međusobno jednake i dok u komparator dolaze potpuno skladno, sa istom fazom, na izlazu komparatora je napon jednak nuli. Ako frekvencija VCO ili MF počne *malo kasniti* ili ako koja od njih *požuri*, pojavit će se *razlika u fazi*. Što je ta fazna razlika veća, to se pojavi veći napon. Nazivaju ga i *»napon pogreške«*. Iza filtracije stiže on u *pojačalo kontrolnog napona* i onda djeluje na VCO povećavajući oscilatorovu frekvenciju, ako je VCO zaostajao, ili smanjujući je, ukoliko je požurio.

Isto će se događati i onda ako frekvencija međufrekventnog signala (MF) koleba amo-tamo, npr., zbog frekventne modulacije. Napon, koji se zbog toga stvara u faznom komparatoru kao *»napon pogreške«* i koji se dalje, pojačan, koristi kao kontrolni napon, *svojim promjenama slijedi samu frekventnu modulaciju MF signala*. To znači da je sam kontrolni napon, zapravo, *demodulirani FM-signal!* Nema poteškoće da se tako demodulirani NF signal (na NF izlazu) odvede iz demodulatora u niskofrekventno pojačalo prijemnika.

Gledajući blok-shemu, dobijemo utisak da je takva vrsta demodulatora prilično zamršena. U praksi ona to ni najmanje nije! Postoje *specijalni integrirani sklopovi* kojima su svi potrebni dijelovi takvog PLL-demodulatora sadržani u malom kućištu. Potrebno je samo malo dodatnih dijelova, sl. 15-28b. Čak je i oscilator koji treba kontrolirati (VCO) sadržan u integriranom sklopu. Frekvencija, koju proizvodi VCO, ovisi o kapacitetu kondenzatora C_1 i o tome na koji smo vrijednost namjestili promjenljivi otpornik R .

Kapacitet kondenzatora C_2 određuje filterska svojstva. Filter na sl. 15-28a mogao bi biti i neki međufrekventni bandfilter. O njegovom propusnom opsegu ovisilo bi kako daleke *devijacije* MF mogu biti o-uhvaćene demodulatorom. Kod integriranog sklopa NE 565 (*»Signetics«*) to ovisi o C_2 .

Integrirani sklop NE 565 se može upotrebljavati na međufrekvencijama do 500 kHz. Za više međufrekvencije uzima se obično NE 561 (*»Signetics«*) koji može slijediti frekvencije do 30 MHz.

NEKE OSOBITOSTI PRIJEMNIKA ZA FM SIGNALA

Utišavanje prijemnika dok nema signala

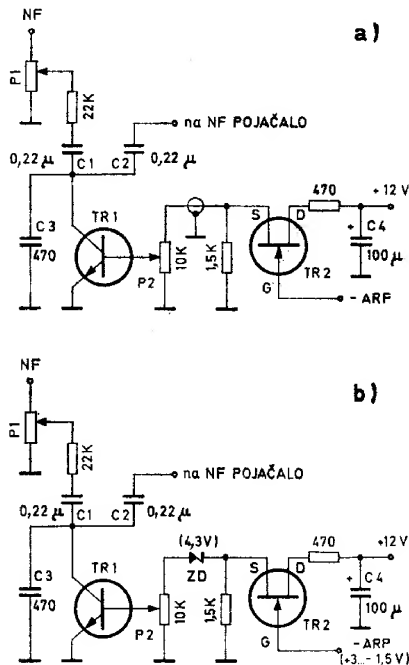
FM prijemnici, u pravilu, imaju međufrekventna pojačala koja u jedno ograničuju amplitudu signala. To se postiže tako da je ukupno pojačanje u MF pojačalu vrlo veliko. Zato *nema* ni regulacije pojačanja. Ono je uvijek maksimalno! Posljedica toga jest, da prijemnik — dok nema signala — prilično glasno šušti. Pojavi li se neki FM signal, šuštanje postaje slabije i kod dovoljno jakog signala šuštanja više nema. Čak se ni impulsne smetnje više ne čuju.

Ukoliko želimo da nam prijemnik bude u pripravnosti na određenoj frekvenciji i da čekamo dok se netko javi, da nas možda pozove (QAP), umorio bi nas dugotrajn i snažan šum iz zvučnika. Utišavanje šuštanja potencijetrom za regulaciju glasnoće ne može koristiti. Tada bi i prijem općenito bio preth.

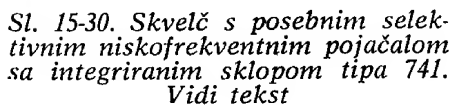
Taj šum, koji se čuje dok još nema signala, potrebno je na pogodan način prigušiti, odnosno sasvim utišati. To se postiže sklopom, nazvanim »skvelč« (od engl. riječi: *»squelch«* = udarcem naglo prignječiti).

U prijemnicima koji, prema sl. 15-27, imaju poseban međufrekventni »kanal« za prijem FM-signala, a poseban za AM-signale sa demodulatorom koji ujedno daje i napon za automatsku regulaciju pojačanja (ARP, vidi u poglavlju o prijemnicima), moguće je istim regulacijskim naponom upravljati i radom »skvelča«. Na sl. 15-29 nacrtane su dvije varijante jednostavnog sklopa ove vrste.

Prva varijanta (sl. 15-29a) vrijedi za one prijemnike u kojima napon za ARP ima stalno negativan predznak. Druga varijanta (sl. 15-29b) odgovara prijemnicima u kojima su MOSFET tranzistori, za koje se (na elektrodi G_2) napon ARP mora mi-



Sl. 15-29. Tranzistorski sklopovi za utišavanje šuma prijemnika dok nema signala (*»skvelč«*): a) za prijemnike sa negativnim ARP-naponom; b) za prijemnike u kojima se pojačanje regulira promjenom prednapona na drugoj gejst-elektrodi (G_2) MOSFET tranzistora



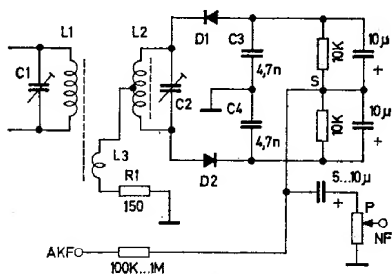
Na sl. 15-30 je shema takvog uređaja. Potenciometar P_1 je onaj kojim se normalno regulira glasnoća prijema. Od njegovog kliznog kontakta, preko kondenzatora ve-

Razumije se, da dodatno NF pojačalo, »skvelča« ne mora biti načinjeno na ovaj način, ali upotreba integriranog sklopa smanjuje i potreban prostor i — posao!

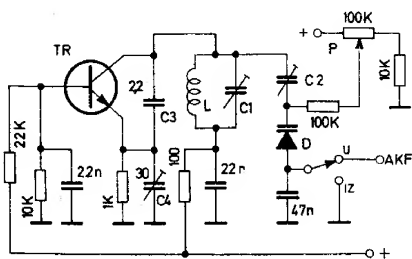
472

noj modulaciji se to stanje mijenja. Ako je modulacijska frekvencija, npr. 1000 Hz, potencijal tačke S mijenjat će se u ritmu ove frekvencije, bit će 1000 puta pozitivan i 1000 puta negativan u jednoj sekundi. Srednji potencijal ostao bi i dalje »nula«, ali njegove NF promjene mogu preko kondenzatora od 5 do 10 μF prenijeti na potenciometar *P* i odavde dalje, u niskofrekventno pojačalo.

Ako frekvencija vala nosioca ne odgovara sasvim resonancijskoj frekvenciji titrajnih krugova, u tački *S* će se pojaviti neki srednji potencijal koji može biti ili viši ili niži, pozitivan ili negativan, ovisno o tome da li je frekvencija vala nosioca malo previsoka ili malo preniska. Ovo se može iskoristiti za



Sl. 15-31. Ratio-detektor sa izvodom napona za automatsku kontrolu frekvencije (AKF)



Sl. 15-32. VFO kojemu se frekvencija mijenja promjenom zapor-nog napona varikap-diode *D*. AKF je priključak napona za automatsku kontrolu frekvencije. Vidi tekst

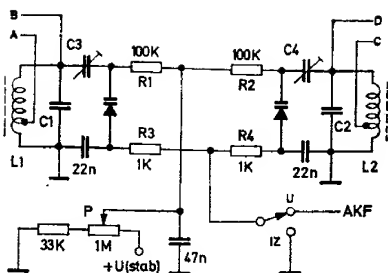
automatsku kontrolu frekvencije (AKF) prijemnog oscilatora.

Pretpostavimo da je varikap-di-oda *D*, sl. 15-32, iskorištena kao promjenljivi kapacitet za odabiranje oscilatorove frekvencije, o kojoj o-visi (zbog miješanja) i ona frek-vencija koju primamo, kao i iznos međufrekvencije koja stiže do ra-tio-detektora (sl. 15-31).

Neka preklopnik, sl. 15-32, bude najprije u položaju *IZ*. Potencio-metrom *P* može se mijenjati zapor-ni prednapon diode *D*, a time i njen kapacitet. Kapacitet same varikap-diode i kapacitet trimera *C*₂ spoje-ni su u seriju, pa se može mijenja-njem *C*₂ odabrati ukupna promjena kapaciteta, ostvarljiva promjenom napona (sa *P*). Time je ujedno od-ređen i opseg frekvencije koje se mogu na taj način obuhvatiti osci-latorom. Aktivni element oscilatora je tranzistor *TR*. On mora biti na-pajan iz izvora kojemu je napon brižljivo stabiliziran.

Ako se preklopnik prebaci u po-ložaj *U*, uključuje se automatska kontrola frekvencije (AKF). Ako frekvencija oscilatora malo poraste, u ratio-detektoru (sl. 15-31) pojavi se AKF-napon takvog predznaka da on, svojim djelovanjem na varikap-diodu, malo poveća njen kapaci-tet i da se frekvencija oscilatora smanji na raniju vrijednost. Obr-nuto će se dogoditi ako frekvenci-ja oscilatora postane malo niža. AKF-napon će sada imati suprotno djelovanje i ponovno će se frekven-cija oscilatora popraviti. Takvo ko-rigiranje oscilatorove frekvencije djeluje i onda, ako frekvencija sta-nice koju primamo nije sasvim konstantna. U svakom slučaju se frekvencija oscilatora održava na iznosu, potrebnom da međufrek-vencija potpuno odgovara resonan-ciji titrajnih krugova u ratio-detek-toru.

Na takav se način može poprav-ljati resonantna frekvencija i dru-gih titrajnih krugova, npr. u viso-kofrekventnom pojačalu, prije stup-



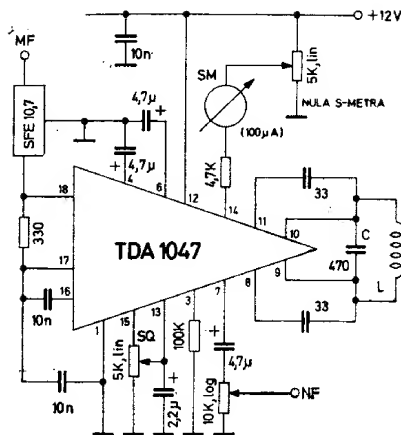
Sl. 15-33. Automatska kontrola frekvencije istovremeno na dva titrajna kruga L_1C_1 i L_2C_2 . Vidi tekst

nja za miješanje. Neka, na sl. 15-33 takvi titrajni krugovi budu L_1C_1 i L_2C_2 . Tu su i dvije varikap-diode kojima kapacitet ovisi o veličini zpornog prednapona. Ovaj se može mijenjati potencijetrom P i tako možemo ugoditi oba titrajna kruga na neku izabranu frekvenciju. Kod A i B , kao i kod C i D , na titrajne krugove su priključeni odgovarajući aktivni elementi (tranzistori ili integrirani sklopovi) za VF pojačanje i za miješanje. Vidimo, da napon za automatsku kontrolu frekvencije (AKF) može istovremeno djelovati na oba titrajna kruga.

Uključivanje S-metra

Više načina za uključivanje S-metra smo vidjeli u poglavlju o prijemnicima. U većini slučajeva se u tu svrhu iskorištava isti onaj napon koji služi za automatsku regulaciju pojačanja (ARP). U prijemnicima, određenim samo za frekventno modulirane signale, takvih mogućnosti nema.

Da se tome doskoči, neke su tvornice izradile integrirane sklopove koji sadrže međufrekventno pojačalo, FM-demodulator, skvelč i mogućnost priključivanja S-metra. Jedan od takvih integriranih sklopova je TDA 1047. Za taj sklop vrijedi shema na sl. 15-34. Mnogo različitih funkcija postiže se upo-



Sl. 15-34. Integrirani sklop TDA 1047 može raditi kao međufrekventno pojačalo sa ograničenjem amplitude, kao demodulator FM signala i kao pojačalo za S-metar. SFE je međufrekventni filter, načinjen iz piezoelektrične keramike

trebom razmjerno malobrojnih dodatnih sastavnih dijelova!

U protivnom, ako bismo htjeli imati S-metar na prijemniku, morali bismo sagraditi poseban međufrekventni kanal u kojemu se ne bi ograničavala amplituda signala. Na njegovom kraju morali bismo imati AM-demodulator koji daje napon ovisan o jakosti signala. Sama ova činjenica pokazuje kako je velika korist od primjene integriranih sklopova.

NEKI PROBLEMI KOD PREDAJNIKA S FREKVENTNOM MODULACIJOM

Ograničenje devijacije kod FM predajnika

Ograničenje devijacije je vrlo ozbiljan problem kod predajnika koji su namijenjeni za održavanje radio-veze telefonijom. Ako ove uporedimo s predajnicima za radio-

foniju, možemo uočiti neke velike razlike.

Radiofonijski predajnici, koji rade u opsegu od 88 do 104 MHz, emitiraju *radio-program* u tzv. *HI-FI kvaliteti* zvuka (engl. »*High Fidelity*« = velika vjernost). Za takvu kvalitetu prenošenih zvukova treba obuhvatiti što širi opseg niskih frekvencija. Da bi prenos bio bez stranih šumova, potrebna je i velika devijacija. Zato je taj trimetarski UKV opseg podijeljen u tzv. »kanale«. Širina kanala koja se smije zauzeti frekventno moduliranim signalom iznosi, prema međunarodnom dogovoru, čak 300 kHz. Kanali su numerirani od 2 do 43. Ukupno je tako određeno 42 kanala. Taj se broj ubrzo pokazao premalenim. Pokušalo se dodati »međukanale«. Svaki kanal je tako dobio još dva pokraj sebe. Numeracija je zadržana, ali — npr — uz kanal br. 25 postoje još kanali »—25« i »+25«. Tako je dobiveno ukupno 124 »nominalnih« kanala. Budući da se radi o emisiji na UKV opsegu, prijem je uglavnom ograničen na domete do horizonta. Kanali se, međunarodnim dogovorom, dodjeljuju na taj način da se popuni svih 124 kanala, ali tako da pojedina radio-stanica ipak može iskoristiti širinu od 300 kHz. Dakako, pritom se moraju uzimati u obzir i geografske okolnosti, budući da radio-stanice treba tako razmjestiti da jedna drugoj ne smetaju.

Radio-veze pomoću *FM-telefoni* je imaju sasvim *drukčiji zadatak*. Njima je jedini cilj međusobno sporazumijevanje *govorom* koji mora biti razumljiv. Ne traži se nikakva druga kvaliteta, pogotovo ne *HI-FI!*

Za amaterske radio-veze frekventnom modulacijom na raspolažanju su samo uska valna područja. Glavno je ono u dvometarskom valnom opsegu: *od 145 do 146 MHz*. Tu se mora naći »mjesto« za izravne veze među pojedinim stanicama (»simplex«), kao i »prostor« za rad preko tzv. repetitora.

Repetitori su primopredajne radio-stanice koje, više ili manje automatski, rade tako da sve ono što prijemnik na određenoj frekvenciji »uhvati« predajnikom daju dalje. Budući da su repetitori smješteni na brdima; domet njihovih predajnika je znatno veći. To se osobito dobro opaža u planinskim predjelima, gdje je domet UKV radio-stanica, smještenih u dolini ili u automobilu koji se vozi cestom, veoma ograničen. *Repetitori omogućuju znatno sigurniju vezu sa svim pokretnim stanicama*. Uz ostalo, one preko repetitora mogu raditi i sa razmjerno vrlo malim snagama.

UKV-veze pomoću frekventne modulacije zahtijevaju da se osigura potreban broj *radnih kanala*. Za neke profesionalne veze je širina kanala najprije bila određena tako da je razmak od frekvencije jednog vala nosioca do frekvencije vala nosioca u susjednom kanalu bio predviđen za 50 kHz. Sve veće potrebe za radnim kanalima prisilile su da se širina kanala smanji. Tako je nastala nova norma: *razmak među kanalima od 25 kHz*. To je predviđeno i za amaterske veze frekventnom modulacijom. Ali, da odmah kažemo i to, da su neke profesionalne službe već prešle na još manje razmake među kanalima: samo 12,5 kHz.

Za amaterske veze je danas još osigurano *po 25 kHz* za svaki radni kanal. Prema tome se *moramo* ravnati.

Širina radnog kanala od samo 25 kHz *određuje i konstrukciju predajnika!* Selektivnost prijemnika, u cjelini, mora biti takva da se sigurno razdvoji ono što pripada jednom kanalu od onoga iz susjednih kanala, inače prijem ne bi bio čist i nesmetan. Prijemnik ne smije biti ni previše selektivan! Potrebno je, naime, da sve što pripada signalu, koji se prima, bude doista i primljeno.

Uporedimo li FM-prijemnik s prijemnikom za SSB-signale vidimo da selektivnost prijemnika za frek-

ventno modulirane signale mora biti oko 10 puta lošija. Zato je i vlastiti šum prijemnika, uz inače jednaku kvalitetu svih sastavnih dijelova, zamijetljivo veći. Zato je i osjetljivost na vrlo slabe signale znatno manja (vidi sl. 15-2). Iz toga slijedi zaključak, nebrojeno puta potvrđen u praksi, da su veze FM-tehnikom ograničene na manju ili veću regiju i da pravih, velikih dometa (DX) ne treba očekivati.

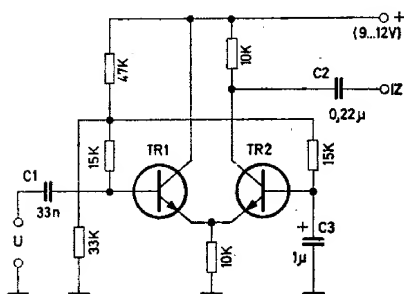
Što se tiče predajnika za FM, jasno je da ni on *ne smije* emitirati signal koji bi bio širi od 25 kHz. Zbog moguće netačnosti frekvencije treba ostaviti neku »sigur-

nost« u obliku signala koji ne bi trebao biti širi od kojih dvadesetak kHz. Ako se opseg modulacijskih frekvencija ograniči tako da je *najviša dopuštena frekvencija 3000 Hz*, onda devijacija *ne smije biti veća od ± 5 kHz*. To su tehnički uvjeti kojima *moraju* udovoljiti sve amaterske radio-stanice za održavanje veza FM signalima. *To moraju ostvariti i svi radio-amateri koji sami grade svoje predajnike* za ovu vrstu modulacije.

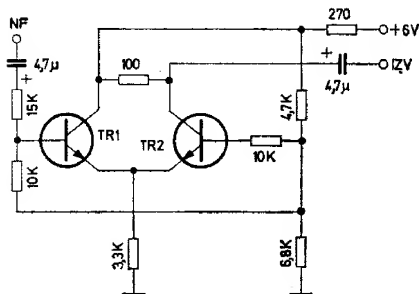
O ograničenju niskofrekventnog modulacijskog spektra smo već ranije govorili. Ovdje ćemo pokazati i nekoliko načina za ograničenje amplitude niskih frekvencija, budući da o toj amplitudi ovisi i devijacija.

Na sl. 15-35 i sl. 15-36 dvije su sheme s po dva tranzistora koji su u međusobnoj emitorskoj vezi: imaju zajednički emitorski otpornik. Ovakva pojačala ubrzo, s porastom amplitude ulaznog signala, dolaze u stanje kada izlazni napon *ne može više rasti*. Izlazna amplituda se ograničuje. Razumije se, da pritom nastaju snažna izobličenja. Iza takvih sklopova mora doći odgovarajući filter.

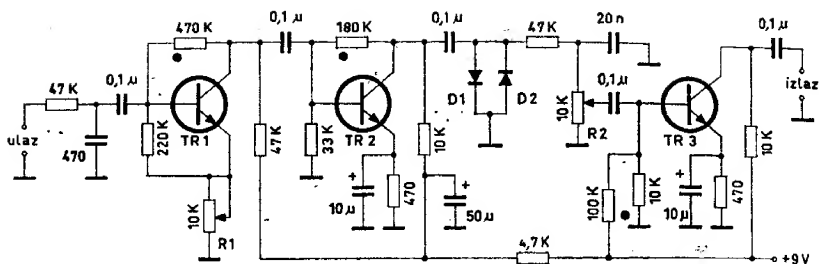
U amaterskim samogradnjama češće se primjenjuje ograničenje amplitude diodama, prema sl. 15-37. Na ulazu se predviđa priključivanje mikrofona kojemu je impedancija oko 50 k Ω . Otpornik od 45 k Ω i kondenzator od 470 pF predstavljaju zaštitni filter od prodora visokih frekvencija iz vlastitog predajnika. Isti taj filter oslabljuje i *najviše frekvencije* zvučnog spektra. Sličnoj svrsi služi i to da su za vezu između pojedinih tranzistorskih stupnjeva stavljeni kondenzatori razmjerno malog kapaciteta (0,1 μ F). Oni oslabljuju *najdublje frekvencije*. Dioda D_1 i D_2 ograničavaju amplitudu koja ne može biti veća od 0,3 V kod germanijevih ili 0,7 V kod silicijevih dioda. I ovdje je predviđeno filtriranje dobivenih amplitude no ograničenih niskih frekvencija. Filter je vrlo jednostavan.



Sl. 15-35. Tranzistori TR_1 i TR_2 međusobno su spojeni zajedničkim emitorskim otpornikom. Uz dovoljan ulazni napon, izlaznom naponu je ograničena amplituda



Sl. 15-36. Sklop za ograničenje amplitude, tzv. »kliper« (clipper), s dva tranzistora koji imaju zajednički emitorski otpornik. Važno je da napon za napajanje bude malen (6 V)



*Sl. 15-37. Mikrofonsko pretpojačalo sa ograničenjem amplitude i sa RC-fil-
terom. D_1 i D_2 su silicijeve diode. R_1 i R_2 su linearni potenciometri, svaki
po 10 kΩ. R_1 određuje ograničenje amplitude a R_2 izlazni napon*

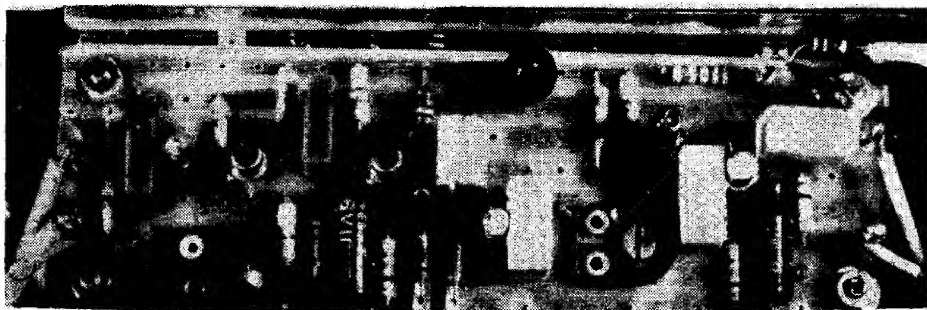
Sastoji se od otpornika (45 kΩ) i kondenzatora koji je na shemi označen kao 20 nF. Njegov se kapacitet može povećati i do 100 nF, što bi doprinijelo još boljoj filtraciji i još jačem potiskivanju najviših frekvencija. Tranzistor TR_3 pojačava ovako dobiveni signal na potreban iznos za dobru modulaciju. Pritom se potencijetrom R_2 regulira izlazna glasnoća i time ujedno i veličina devijacije. Promjenljivim otpornikom R_1 može se mijenjati pojačanje a time i izlazni napon iz TR_2 . Što je ovdje veće pojačanje, to će ograničavanje amplitude biti procentualno jače. Ono ne smije biti pretjerano, nego samo toliko da govor još bude potpuno razumljiv.

Na sl. 15-38 vidi se takvo pojačalo sa ograničenjem amplitude,

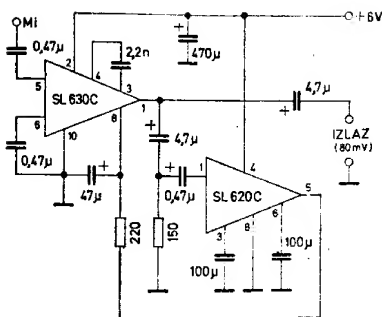
sagrađeno prema shemi, sl. 15-37. Izlaz takvog pojačala spaja se na predajnik na priključnice koje su inače predviđene za mikrofona.

Osobito treba paziti da se predajnik ne »premodulira«, tj. da devijacija FM-signal ne bude prevelika. To bi otežalo prijem kod onih koji takav signal primaju. Osim toga bi bilo i nepodnošljivih smetnja u susjednim kanalima!

U novije vrijeme ima i integriranih sklopova koji mogu vrlo dobro poslužiti za postizavanje pravilne, amplitudno ograničene frekventne modulacije. Shema na sl. 15-39 omogućuje gradnju NF pojačala koje na svom izlazu održava maksimalni izlazni napon od 80 mV, bez obzira da li se u mikrofona (M_i) govori glasnije ili tiše. Predviđena je upotreba integriranih sklopova SL 630C



*Sl. 15-38. Izgled mikrofonskog pretpojačala s tri tranzistora i dvije diode
za ograničenje amplitude, kako ga je načinio YU2BR i ugradio u jedan od
svojih primopredajnika*



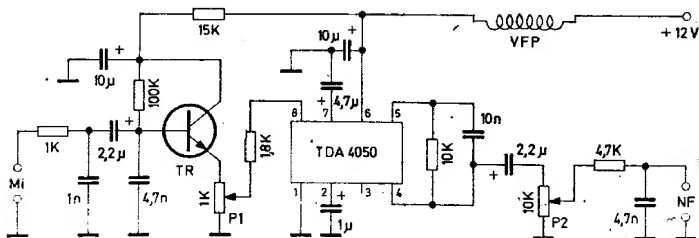
Sl. 15-39. Dva integrirana sklopa, SL 630C i SL 620C, u mikrofonskom pretpojačalu. Izlazni napon je maksimalno 80 mV

i SL 620C. Napon za napajanje uređaja ne smije biti veći od 6 V.

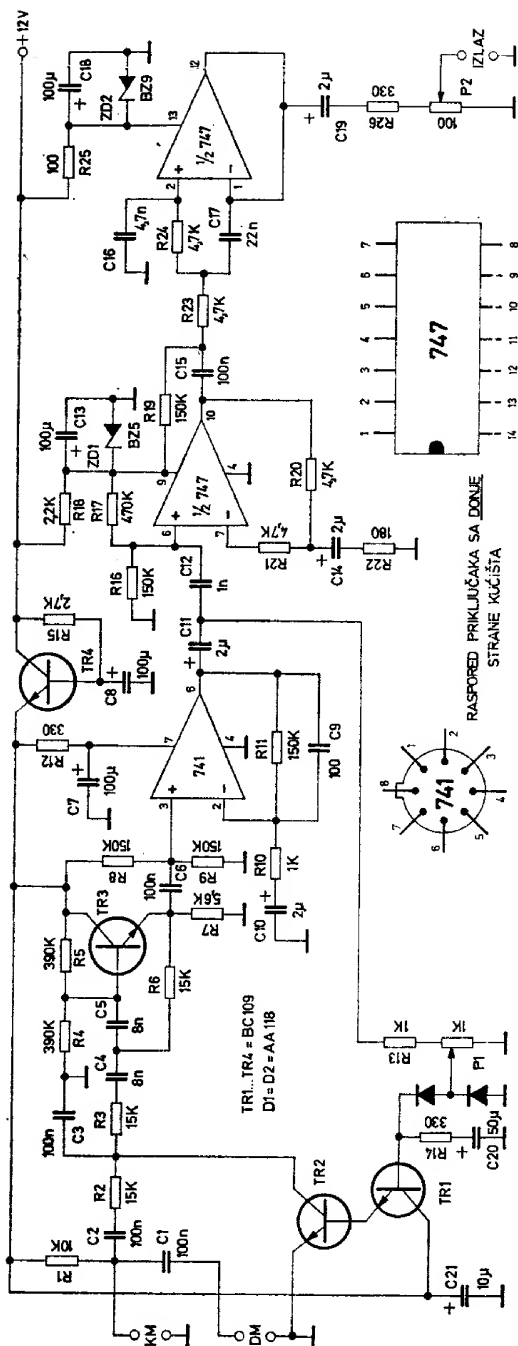
U integriranom NF pojačalu TDA 4050, predviđenom za ograničenje amplitude, taj se cilj postiže tzv. *kompresijom*. Što je signal jači to pojačanje automatski postaje manje. Tako se smanjuje razlika između glasnijih i tiših zvukova pa govorimo o smanjenju »dinamike« ili o »kompresiji dinamike«. Na sl. 15-40 je i pretpojačalo s tranzistorom TR . On je dodan, da kao emittersko slijedilo poveća ulaznu impedanciju. Mikrofon može imati impedanciju do 50 k Ω . Potencijometrom P_1 odabire se stupanj kompresije. Potencijometar P_2 određuje visinu izlaznog napona i, ujedno, stupanj modulacije, odnosno veličinu devijacije. Izlaz (NF) spaja se s mikrofonskim ulazom na predajniku.

Nabaviti potrebne »integrirce« nije uvijek jednostavno, ukoliko želimo graditi nešto, prema sl. 15-39 ili sl. 15-40. Tko ne može pronaći integrirane sklopove SL 630C, SL 620C ili TDA 4050, moći će nabaviti tri domaća, poznata i univerzalna IL 741. Shema na sl. 15-41, koju dugu- jemo YU2REJ, predviđa upotrebu jednog sklopa 741 i jednog 747. Ovaj drugi sadrži dva integrirana sklopa koji potpuno odgovaraju tipu 741. Tako je moguće umjesto integrira- nog sklopa 747 upotrebiti dva sa oznakom 741. Pri tom treba, daka- ko, paziti na priključke. Na slici su priključci za 741 (u metalnom ku- čištu) i za 747 u kućištu DIL-14. Svi priključci su numerirani onako, ka- ko ih se vidi sa *donje strane* kući- šta. Raspored priključaka za 741 u DIL-8 i u DIL-14 kućištu može se naći u poglavlju o prijemnicima.

Vratimo se shemi *audio-procesora*, prema YU2REJ, sl. 15-41. Predviđena su dva mikrofonska ulaza. Kod DM može se priključiti *dinamički* mikrofonski, a kod KM *elektretski, kristalni* mikrofonski. Elektretskim mikrofonima je potreban prednapon. Za ovu svrhu je predviđen otpornik R_1 . Mikrofonske NF struje teku kroz otpornike R_2 i R_3 , zatim kroz C_4 i C_5 na bazu tranzistora TR_1 . Kapaciteti ovih kondenzatora, kao i C_3 , odabrani su tako da se potisnu i najviše i najniže frekvencije. R_4 i R_5 osiguravaju potreban prednapon baze za TR_1 . Ovaj radi kao emiterko sljedilo i NF signal odlazi preko C_6 u integrirano NF pojačalo sa 741. Kondenza-



Sl. 15-40. Kompresor dinamike sa TDA 4050. Vidi tekst



Sl. 15-41. Niskofrekventni procesor za dinamički ili elektretski mikrofonski, sa regulacijom pojačanja, ograničenjem amplitude i filtriranjem izlaznog NF napona, prema YU2REJ

toru C_9 također je zadatak da oslabi najviše frekvencije koje nam nisu potrebne.

Izlazni elektrolitski kondenzator C_{11} omogućuje da pojačane niske frekvencije stignu, preko R_{13} , na potencijometar P_1 . Dvije serijski spojene diode ispravljaju NF naпон koji otvara tranzistore TR_1 i TR_2 . Kad TR_2 provede struju, on će više ili manje odvoditi niske frekvencije sa srednje tačke, između R_2 i R_3 , što sprečava da glasni zvukovi budu jednako tako pojačani kao i oni tiši. Kao rezultat ovog djelovanja postiže se *ujednačena glasnoća*; amplitude svih zvukova postaju podjednake. Za pravilan rad ovakve regulacije važna je vremenska konstanta RC kombinacije R_{14}/C_{10} pa je dobro držati se označenih vrijednosti.

Veza sa slijedeća dva stupnja audio-procesora ostvarena je kondenzatorom C_{12} koji ima neuobičajeno malen kapacitet. On ponovno oslabljuje najdublje frekvencije zvučnog spektra. Obje polovice integritiranog sklopa mogle bi se, bez problema, zamijeniti s dva IL 741 ($= \mu A 741 = \mu L 741 = 741$). Numeracija priključaka je onda drukčija, ali se na shemi vidi šta bi s čime trebalo spojiti. Oba ova stupnja su načinjena tako da i oni ograničuju amplitude i, ujedno, propuštaju samo srednje frekvencije, potrebne za modulaciju. Potencijometrom P_2 regulira se stupanj devijacije, odnosno intenzitet modulacije. Kompresija NF amplitude ispred prvog stupnja određuje se potencijometrom P_1 .

Audio-procesor o kojemu je bilo govora u poglavlju o SSB-telefoniji (sl. 14-27, str. 450) mogao bi se koristiti i za FM-modulaciju. Taj je razmjerno skup, jer se primjenjuje pretvaranje NF signala u SSB-signal. Tamo bi za ograničenje amplitude mogli poslužiti i sklopovi s tranzistorima, prema sl. 15-35 i sl. 15-36.

PRIMJER SAVREMENOG DVOMETARSKOG PREDAJNIKA ZA FM

Opće napomene

Savremeni dvometarski predajnik za frekventno modulirane signale mora ispunjavati niz specifičnih zahtjeva. Kao prvo on mora imati *stabilan oscilator* da emitirana frekvencija bude unutar određenog FM-kanala, između 145 i 146 MHz. Zbog potrebne konstantnosti frekvencije ne dolazi u obzir direktna frekventna modulacija oscilatora. Treba primijeniti *faznu modulaciju* u jednom od stupnjeva koji slijedi za oscilatorom.

Faznom modulacijom mogu se u moduliranom stupnju postići razmjerno male devijacije frekvencije. Njih se povećava na potrebnu mjeru nizom umnoživača frekvencije, najmanje 9 ili, bolje, još više puta, za kvalitetan prenos govornih frekvencija. Za amaterske potrebe može se u tu svrhu odabrati kvarcov kristal sa osnovnom frekvencijom blizu 4, 6, 8, 9 ili 12 MHz. On se mora pobuđivati na *osnovnoj* frekvenciji.

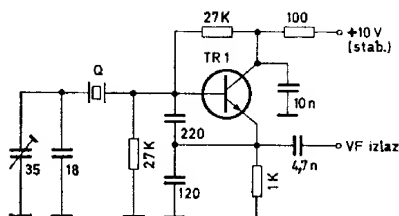
Da se osigura samo najnužniji opseg frekvencija, da širina signala odgovara opsegu koji je dopušten za jedan komunikacijski kanal, modulator *mora imati ograničenje amplitude i ograničenje opsega frekvencija*. Za prenos govora dovoljno je modulirati s frekvencijama između 300 i 3000 Hz. Amplituda niskih frekvencija mora biti tako odabrana da se na izlazu predajnika, na radnoj frekvenciji, postigne devijacija koja *nikako ne može* preći iznos ± 5 kHz (za razmak između susjednih komunikacijskih kanala od 25 kHz).

Izlazna snaga predajnika može biti od 0,2 do 1 W za lokalne veze sa usmjerenom antenom, uračunavši i veze preko pogodne relejne radio-stanice, tzv. repetitora. Veća izlazna snaga, oko 10 ili nešto više vata, dovoljna je za rad iz vozila

na manje daljine sa antenom koja ima kružnu karakteristiku zračenja. Za veze na umjereno veće daljine ta je snaga dovoljna uz antenu sa usmjerenim zračenjem. Veća će snaga biti *samo izuzetno* od koristi, jer FM signal — u pravilu — *nije* najbolji za prave DX-veze.

Kvarcov pobudni oscilator

Najjednostavniji oscilator velike stabilnosti moguće je sagraditi prema sl. 15-42. TR_1 je bilo koji silicijski tranzistor tipa N-P-N, npr. BC 108. Trimerski kondenzator od 35



Sl. 15-42. Kvarcov kristalni oscilator za pobudu u tekstu opisanog FM predajnika. Kristal Q pobuđuje se na osnovnoj frekvenciji

pF maksimalnog kapaciteta omogućuje dovođenje oscilatora na tačnu frekvenciju. Pogonski napon od 10 V treba da je stabiliziran. Izgled takvog oscilatora se vidi na sl. 15-43, lijevo.

Niskofrekventno pojačalo za faznu modulaciju

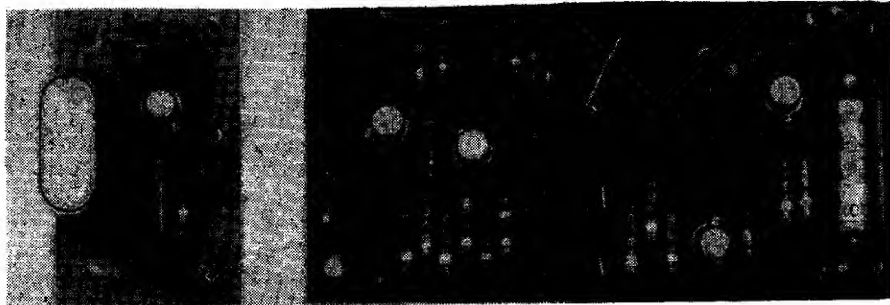
Na istoj sl. 15-43, desno, vidi se i niskofrekventno pojačalo koje ima sva svojstva, potrebna za pravilnu faznu modulaciju. Shematski je prikazano na sl. 15-44.

Tranzistori TR_1 i TR_2 rade kao niskofrekventno pretpojačalo audio-frekventnih struja iz dinamičnog mikrofona impedancije između 200 i 1000 Ω . Kondenzator od 1 nF, spojen između baze i emitera TR_1 , onemogućuje prodor visokih frek-

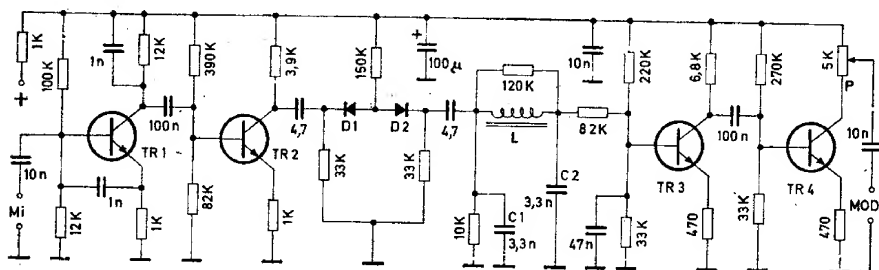
vencija u pojačalo. Istoj svrsi služi i kondenzator od 1 nF kojim je premošten kolektorski otpornik istog tranzistora. Emitterski otpornik tranzistora TR_1 , kao ni onaj tranzistora TR_2 , nisu premošteni elektrolitskim kondenzatorom. Pojačanje je i bez toga dovoljno jako i veoma čisto.

Diode D_1 i D_2 imaju malen pred-napon. One mogu propustiti samo male amplitude niskofrekventnih napona, dok sprečavaju prolaz većim amplitudama. Ulaz i izlaz diodnog sklopa načinjen je kondenzatorima malog kapaciteta samo po 4,7 μ F. Prigušnica L (oko 1 H) sa pripadajućim otporima i kondenzatorima C_1 i C_2 sačinjava filter za uklanjanje onih viših frekvencija koje redovno nastaju ograničenjem amplituda. Dodatni otpornik (82 k Ω) i kondenzator (47 nF) također predstavljaju filterski član. Na ulazu i na izlazu diodnog ograničivača snažno su prigušene niske frekvencije, dok filterski lanac prigušuje visoke. U niskofrekventno pojačalo s tranzistorima TR_1 i TR_2 frekvencije od 300 do 3000 Hz ulaze sa podjednakim malim amplitudama. Ova dva posljednja tranzistora rade širokopojasno, da se ne bi poremetili fazni odnosi među pojedinim amplitudama, pa se na potencijometru P dobije vjerna reprodukcija svih propuštenih frekvencija. Amplituda ostaje ograničena. Izlazni napon MOD neovisan je o tome da li se u mikrofoni govori malo tiše ili glasnije. Potencijometar P treba namjestiti tako da se postigne željena maksimalna devijacija. Ona tada ostaje u odabranim granicama.

Na sl. 15-43 još nema prigušnice L . Za prvi čas je ona bila zamijenjena kratkospojnom žicom. Modulacija je ipak bila upotrebljiva. Kasnije je na to mjesto bila uključena primarna zavojnica malog tranzistorskog izlaznog transformatora sa induktivitetom oko 1 H. Sva četiri tranzistora mogu opet biti BC 108 ili slični.



Sl. 15-43. Izgled pobudnog oscilatora (lijevo) i niskofrekventnog pojačala za faznu modulaciju (desno)

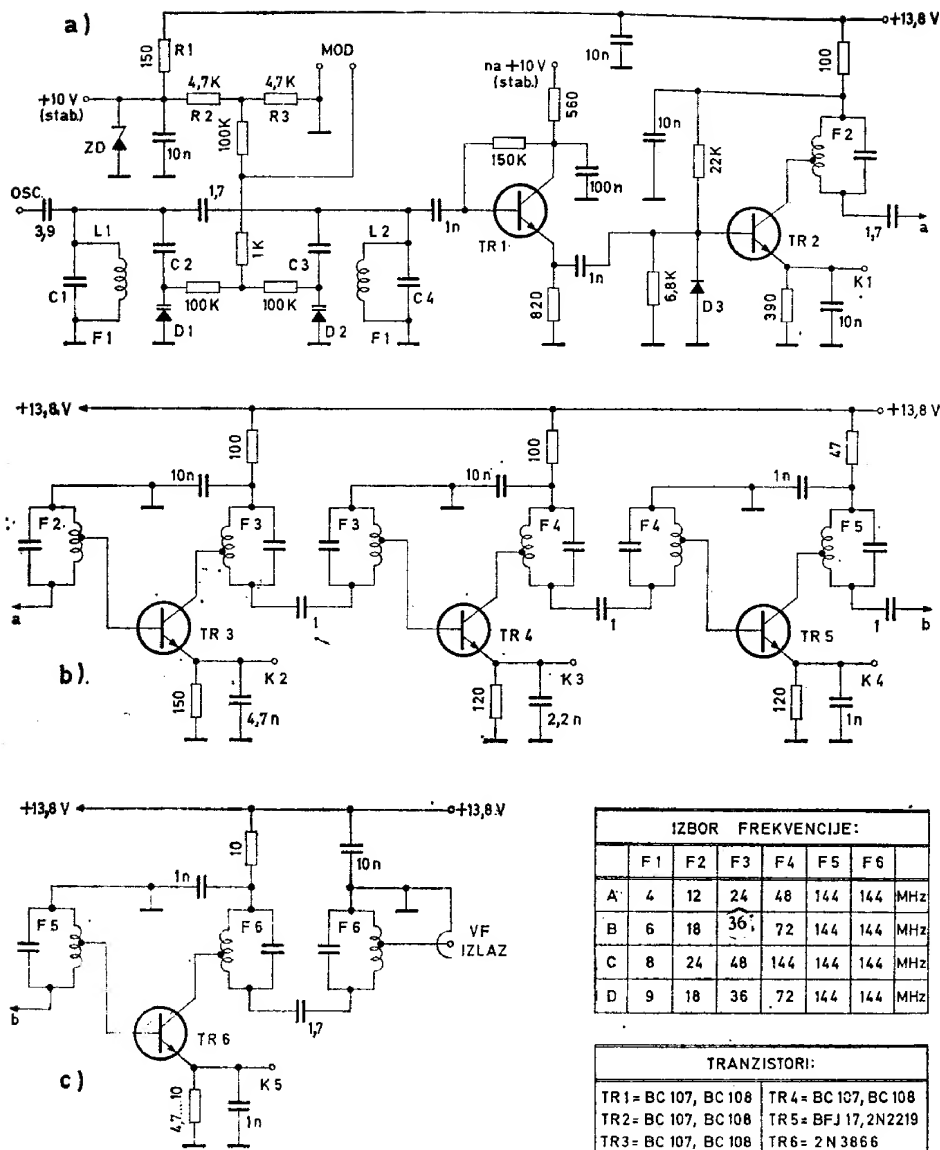


Sl. 15-44. Shema niskofrekventnog pojačala za faznu modulaciju. Opseg frekvencija i amplituda modulatorskog napona su ograničeni. Vidi tekst

Fazni modulator i stupnjevi predajnika za 0,5 W na 145 MHz

Titrajni krugovi L_1C_1 i L_2C_4 , na sl. 15-45, formiraju kapacitivno vezani bandfilter za osnovnu frekvenciju pobudnog oscilatora. On se priključuje kod OSC, a bandfilter se mora ugoditi na resonanciju. Paralelno s kapacitetima bandfiltera dodani su kondenzatori C_2 i C_3 . Sa svakim od njih je u seriju spojena po jedna varikap-dioda (D_1 i D_2). Na diode dolazi dio stabiliziranog napona od stabilizatora sa ZD i djeluje zaporno. Istovremeno, na diode D_1 i D_2 , od priključnica MOD dolazi i modulatorski niskofrekventni napon. Diode mijenjaju svoj kapacitet i fazno moduliraju oscilacije u titrajnim krugovima prvog bandfiltera.

Na ovaj bandfilter se nadovezuje tranzistor TR_1 . On je spojen kao emitorsko slijedilo (emiter follower), dakle kao pretvarač impedancije. Ulazni strujni krug baze tranzistora tako ima veliku impedanciju i gotovo ne opterećuje titrajni krug L_2C_4 . Emitterski strujni krug, nasuprot tome, ima nisku impedanciju. Otuda izlazi VF signal i njegov se napon ograničuje silicijevom diodom D_3 na vršnu vrijednost oko 0,7 V, da se na taj način uklone tragovi amplitudne modulacije do koje je — uz faznu modulaciju — moglo doći u određenoj manjoj mjeri. Na bazu tranzistora TR_2 stiže dakle *frekventno modulirani signal stalne amplitude*. U ovom se stupnju frekvencija signala prvi put umnožava. Oznaka F_2 odnosi se na bandfilter, uključen između tranzistora TR_2 i TR_3 . Hoćemo li se ovdje odlučiti za utro-



Sl. 15-45. Shema predajnika za FM signale: fazni modulator sa varikap-diodama, stupnjevi za umnažanje frekvencije i za pojačavanje signala. a), b) i c) su dijelovi iste sheme i nastavljaju se jedan iza drugoga

stručenje ili za udvostručenje frekvencije, ovisi o frekvenciji oscilatora F_1 i o konačnoj frekvenciji koju želimo postići iz daljnjeg ni-

za umnoživača i visokofrekventnih pojačala, s tranzistorima TR_1 , TR_2 i TR_3 . Između ovih stupnjeva, kao i na izlazu tranzistora TR_6 , posvu-



Sl. 15-46. Pogled na gornju stranu predajnika prema sl. 15-45, kako ga je sagradio YU2CO

da su stavljeni *kapacitivno vezani bandfilteri*. Tako je osigurana veća selektivnost nego bi se moglo postići pojedinačnim titrajnim krugovima. To je važno iz dva razloga. Prvo, u tranzistorskim pojačalima snage, a osobito u umnoživačkim stupnjevima, javljaju se uvijek i nepoželjne više harmonične frekvencije. Njih se može lakše i bolje ukloniti bandfilterom. Drugo, na taj način je u određenoj mjeri osigurana širokopojasnost, pa titrajne krugove — kad su jednom dobro ugođeni — ne treba ponovno ugađati pri svakoj promjeni radne frekvencije. Može se postići da ovi bandfilteri omogućuju promjenu *izlazne* frekvencije u čitavom opsegu, od 145 do 146 MHz, uz posvuda istu izlaznu snagu.

Ako su sastavni dijelovi malenih dimenzija, može se, pažljivim rasporedom, postići da kompletna jedinica, prema shemi na sl. 15-45, ne zauzima više mjesta od 40×90 mm na štampanoj pločici. Fotografiska snimka, reproducirana na sl. 15-46, pokazuje kako je to postigao YU2CO gradeći čitav ovaj predajnik po uzoru na provjereni tvornički uređaj. Uzduž montažne pločice postavljena je pregrada s pretincima. U gornjem desnom odjeljku je fazni modulator. Ono što ondje ima oblik tranzistora je Zenerova dioda ZD. Tranzistori TR_1 do TR_6 poređani su s desna u lijevo u *donjem* nizu odjeljaka na slici. Bandfilteri su smješteni razdvojeno, tako da je prvi titrajni krug

bandfiltera, onaj koji je spojen u kolektorski strujni krug, smješten uz tranzistor kojemu pripada. Drugi titrajni krug svakog bandfiltera je s druge strane uzdužne pregrade, *gore*, na slici.

Pažljivom čitatelju nije izbjeglo da se na shemi, sl. 15-45, nalaze i kontrolne mjerne tačke, označene od K_1 do K_5 . One služe kao pomoć kod ugađanja. Spojimo li neki osjetljivi voltmetar (do 5 ili 10 V) između K_1 i limene pregrade koja predstavlja »uzemljeni« dio uređaja, moći ćemo zavojnice L_1 i L_2 , okretanjem njihovih jezgrica, dovesti u resonanciju s frekvencijom oscilatora, priključenoga kod OSC. Voltmetar mora pokazati *maksimum*. Jednakim ugađanjem *prvog* titrajnog kruga bandfiltera F_2 , opazit ćemo da voltmetar kod resonancije, priključen na K_1 , pokaže malen, ali jasan »dip«.

Sada treba voltmetar spojiti na isti način sa K_2 i jezgricom *druge* zavojnice istog bandfiltera i ovdje postići maksimalan otklon kazaljke. Ugađanjem *prvog* titrajnog kruga bandfiltera F_3 treba opet postići malen i jasan »dip«.

Kad smo i to postigli, možemo voltmetar priključivati redom na slijedeće kontrolne tačke i na isti način ugoditi sve titrajne krugove, osim posljednjega u izlaznom bandfilteru. Njega treba ugoditi na *maksimum* izlazne snage pomoću male vatmetarske sonde otpora 50Ω ,

najbolje prema sl. 21-70 u poglavlju o *mjernim instrumentima i mjerenjima* u ovoj knjizi. Iz veličine napona koji poslije ugađanja pokaže voltmetar, priključen na tu mjernu sondu, možemo — služeći se dijagramom sl. 21-71 — odrediti kolika je izlazna snaga. Kad je sve dobro ugođeno, voltmetar će tu pokazivati između 5 i 6 V, što znači da je izlazna snaga između 0,4 i 0,6 W, ovisno o ugrađenim tranzistorima i o kvaliteti sastavnih dijelova i rada.

Polazeći od neke oscilatorske frekvencije F_1 možemo na više načina doći do 144 MHz. Tablica za izbor frekvencija, na sl. 15-45, sadrži ono što je iskušano u praksi. Tamo je također popis tranzistora koji se mogu uspješno upotrebiti. Ali, i s drugim tranzistorima mogu se postići slični rezultati. Podatke o zavojnicama nismo dali, jer oni ovi se o upotrebljenim tijelima i jezgri-

cama. To treba kod gradnje odrediti pomoću dobrog »dipera« (GDM).

Kod gradnje, koju preporučujemo samo iskusnijim konstruktorima, nije potrebno ići na »miniaturizaciju«. Važnija je precizna izrada i dobro ugađanje uređaja!

Kako postići veću izlaznu snagu predajnika?

Veću izlaznu snagu FM predajnika, za rad u dvometarskom (ili u nekom drugom UKV opsegu) može se postići dodavanjem daljnjih stupnjeva za pojačanje snage. Za frekventno modulirani signal takva pojačala mogu raditi u klasi C. Po tome se *ne razlikuju od pojačala za telegrafiju* (CW). Podaci i primjeri za gradnju UKV pojačala snage mogu se naći u poglavlju o UKV predajnicima.

PRIMOPREDAJNICI

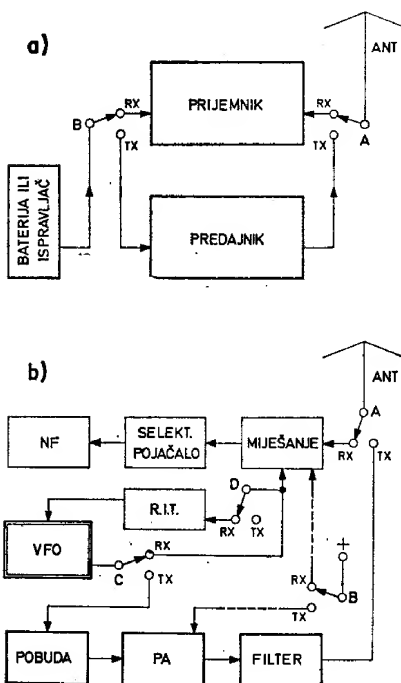
PRINCIP PRIMOPREDAJNIKA

Primopredajnik je uređaj koji na poseban način *ujedinjuje* prijemni i predajni dio amaterske radio-stanice u jednu funkcionalnu cjelinu.

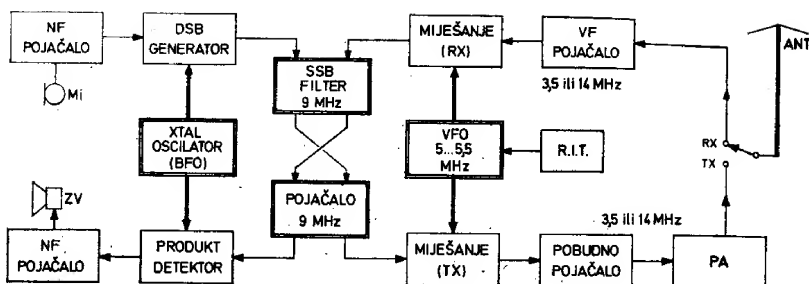
Glavni uređaji u amaterskoj radio-stanici su prijemnik, predajnik, izvor električne energije i antenski sistem. Na sl. 16-1a je to prikazano tzv. blok-shemom. Najčešće je antenski sistem amaterske radio-stanice zajednički za prijem i za emisiju. Antenu treba, dakle, na neki način za vrijeme prijema spojiti s prijemnikom. Za vrijeme emisije treba je spojiti s predajnikom. U principu se to može postići preklopnikom A. Dok radi prijemnik, predajnik ne smije raditi i obrnuto. U najjednostavnijem slučaju će preklopnik B omogućiti da imamo naizmjenice prijem, pa predaju i tako redom. Tim preklopnikom se električna energija, potrebna za pogon uređaja, dovodi ili prijemniku ili predajniku. Bez obzira na to da li se prekapčanje obavlja ručnim putem ili automatski, to se još ne može smatrati primopredajnikom. Primopredajnik se ne sastoji od dva dijela. To mora biti jedan, jedinstveni uređaj.

»Pravi primopredajnik, kod kojega neki dijelovi služe i za prijem i za predaju, prikazuje blok-shema na sl. 16-1b. U ovom jednostavnom primjeru zajednički dio je oscilator koji određuje radnu frekvenciju, VFO. On daje visokofrekventne titraje koji se vode u pobudne stupnjeve, preko ovih u izlazno poja-

čalo snage (PA) i — kroz filter — u antenu. Isti VFO koristi se i za prijem. Uz pretpostavku da prijemnik radi na principu direktnog miješanja, iza prvog stupnja slijedi selektivno pojačalo. Ono pročisti demodulirani signal koji nastaje pri



Sl. 16-1. Primopredajni uređaji: a) s prijemnikom i predajnikom; b) da se uređaj može nazvati »primopredajnikom« moraju neki dijelovi biti zajednički za obje funkcije. Ovdje je zajednički oscilator, VFO. Opis u tekstu



Sl. 16-2. Blok shema primopredajnika za kratkovalne opsege od 3,5 ili 14 MHz. Prijemni dio uređaja je jednostruki superheterodin sa međufrekvencijom od 9 MHz. Zajednički stupnjevi su dvostruko uokvireni. Frekvencija VFO-a se mijenja od 5 do 5,5 MHz. Vidi tekst

miješanju) i predaje ga izlaznom niskofrekventnom pojačalu.

Redovito se događa da između naše radne frekvencije i one, na kojoj nam odgovara radio-stanica partnera u radio-vezi, postoji neka manja ili veća razlika. Zato treba omogućiti da se frekvencija koju za vrijeme prijema proizvodi VFO malo popravi, ali tako da to nema utjecaja na frekvenciju naše emisije. To je na blok shemi označeno kao R.I.T. (engl. »Receiver Independent Tuning« = nezavisno ugađanje prijemnika ili »Receiver Incremental Tuning« = ugađanje prijemnika unutar malog dijela opsega, inkrementa). Ovo omogućuje da kod telegrafije odaberemo onu visinu tona koja nam u određenoj situaciji najbolje odgovara. Također je moguće popraviti i glas kod prijema SSB-signal. Zato se takav način kontrole frekvencije naziva i »clarifier« (engl. »clarify« = pročistiti, razbistriti).

Kako vidimo, takav uređaj ima »zamršenu« blok-shemu. Treba više toga prekapčati. Preklopnik A i ovdje mijenja priključak antene između prijema i predaje. Preklopnik B omogućuje da se naizmjenice električnom energijom napaja prijemni ili predajni dio. Preklopnik C spaja VFO ili za potrebe prijema ili za potrebe predaje, dok preklopnik D osigurava da se frekvencija

VFO-a može mijenjati isključivo za vrijeme prijema.

Nije uvijek sve ovako pregledno, osobito ne ako je prijemnik superheterodin. Onda se ne može na tako jednostavan način koristiti isti VFO za dvije različite potrebe. Za miješanje u superu mora, kako znamo, »injekcija« iz oscilatora u stupanj za miješanje biti za iznos međufrekvencije niža ili viša od one koju želimo primiti. Jedno od mogućih rješenja pokazuje slijedeći primjer.

Na sl 16-2 je blok shema kratkovalnog primopredajnika koji ima prijemni dio sagrađen kao superheterodin sa jednostrukom transpozicijom. Moguće ga je sagrađiti za 80-metarski ili za 20-metarski opseg ili za oba ova kratkovalna amaterska opsega. Kako se vidi, zajednička su četiri stupnja. To je u prvome redu *oscilator promjenljive frekvencije (VFO)* od 5,0 do 5,5 MHz. Njemu se može za vrijeme prijema frekvencija malo promijeniti, otprilike za 3 kHz naviše i jednako toliko naniže. Za vrijeme emisije njegova se frekvencija ne smije mijenjati. O tome se »brine« poseban dodatak, označen kao R.I.T. Još je jedan oscilator zajednički prijemnom i predajnom dijelu. To je *kristalni, kvarcov oscilator* kojim se odabire bočni pojas kod SSB-telefonije i koji ujedno

proizvodi tzv. val nosilac (potreban za pravilan rad *DSB-generatora* u predajnom dijelu!), služeći također kao pomoćni oscilator (*BFO*) kod prijema. Tu su redovito dva kristala (8998,5 i 9001,5 kHz), jedan za gornji a drugi za donji bočni pojas (u 80-metarskom opsegu, odnosno *obrnuto* u 20-metarskom!).

Zajednički je i *kvarcov filter* za SSB-sigale. Srednja frekvencija njegovog propusnog opsega je 9000 kHz i širina 2,4 kHz. On osigurava potrebnu čistoću emitiranog SSB-signala i, istovremeno, određuje stupanj selektivnosti prijemnog dijela. *Pojačalo za signale od 9 MHz* također služi i za vrijeme prijema i za vrijeme predaje.

Razumije se da je potrebno antenu naizmjenično priključivati ili na ulaz prijemnog (na slici) ili na izlaz predajnog dijela. Osim toga se strujom trajno napajaju samo zajednički dijelovi. Ostali dijelovi su priključeni na pogonski napon *samo onda, kada treba da rade*. Prijemni dijelovi (*VF pojačalo, miješanje RX, produkt-detektor i NF pojačalo za pogon zvučnika ZV*) samo za vrijeme prijema, a predajni (*mikrofonsko NF pojačalo, DSB-generator, miješanje TX, pobudno pojačalo i izlazni stupanj PA*) napaja se samo za vrijeme emisije.

Prikazana blok shema je vrlo pogodna za gradnju primopredajnika amaterskim sredstvima. Napredniji graditelj lako će izabrati za pojedine dijelove ove blok sheme odgovarajuće sklopove prema onome što je pokazano u ranijim poglavljima o prijemnicima, o predajnicima i o SSB-telefoniji. Ako su titrajni krugovi na ulazu prijemnika, kao i na izlazu predajnika, predviđeni samo za jedan od dva moguća opsega, gradnja je jednostavnija. Moguće je, dakako, primopredajnik ove vrste načiniti za oba opsega, 3,5 i 14 MHz. Treba samo nekim valnim preklopnikom predvidjeti mogućnost zamjene jednih zavojnica s drugima.

NEKOLIKO SPECIJALNIH SKLOPOVA ZA PRIMOPREDAJNIKE

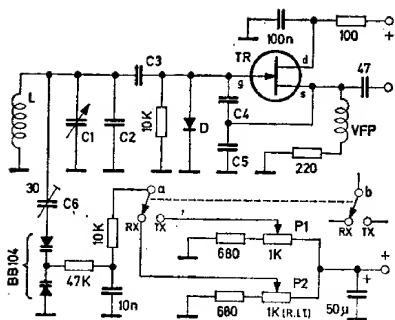
Promjena frekvencije oscilatora za vrijeme prijema

Neki primopredajnici tvorničke proizvodnje nemaju takve mogućnosti (npr. poznati, inače vrlo dobar, »Atlas«). Kad smo jednom ugodili frekvenciju VFO-a za najbolji i najčistiji prijem, imamo odmah i jamstvo da će i naša emisija biti na istoj frekvenciji (»u zerobitu«, kako to kažu amateri). Ali, šta onda ako se frekvencija kod našeg »partnera« malo promijeni u toku veze ili ako naš VFO malo »pobjegne«? Glas operatora stanice s kojom održavamo vezu postaje više ili manje izobličen, ali i mi njemu govorimo sve više kao »Paja Patak« (HI). A, tek kad je više stanica u grupi? — Ako diramo dugme VFO-a popraviti ćemo prijem, ali ćemo istovremeno promijeniti i radnu frekvenciju predajnika! Potrebno je, dakle, imati uređaj za malu promjenu frekvencije kod prijema (± 3 kHz), ali tako da to ne utječe na predajnik. Ovdje ćemo pokazati najjednostavnije mogućnosti.

Frekvenciju VFO-a (sl. 16-3) mijenja promjenljivi kondenzator C_1 . Oscilator je nacrtan sa FET-om i radi po Seiler-ovom principu.

Za Seiler-ov oscilator je tipično da je titrajni krug C_1C_2L , sa aktivnim elementom (TR) spojen preko trodjelnog kapacitivnog niza C_3 , C_4 i C_5 . Prvi od ova tri kondenzatora ima malen kapacitet, dok preostala dva imaju velike kapacitete (vidi u poglavlju o oscilatorima). Preko C_6 je u titrajni krug uključena *varikap-dioda*. To je dvostruka varikap-dioda BB 104. Kad su preklopnici a i b u položaju RX , prednapon diode određuje potencijometar P_2 . On ima dugme za posluživanje na prednjoj ploči primopredajnika.

Ovaj potencijometar nema utjecaja na rad oscilatora za vrijeme emisije, kad je preklopnik a/b u



Sl. 16-3. Iako je VFO zajednički, ovakav sklop (R.I.T.) omogućuje da se frekvencija za vrijeme prijema može malo mijenjati, neovisno o radnoj frekvenciji predajnika. Vidi tekst

položaju TX. Budući da je potencijometar P_1 »jednom za svagda« postavljen u svoj srednji položaj, frekvencija se odabire samo sa C_1 . Varikap-dioda BB 104 ima konstantan prednapon, pa joj je i kapacitet stalan. Da to doista tako bude potrebno je da napon, koji se dovodi na P_1 i P_2 , bude dobro stabiliziran.

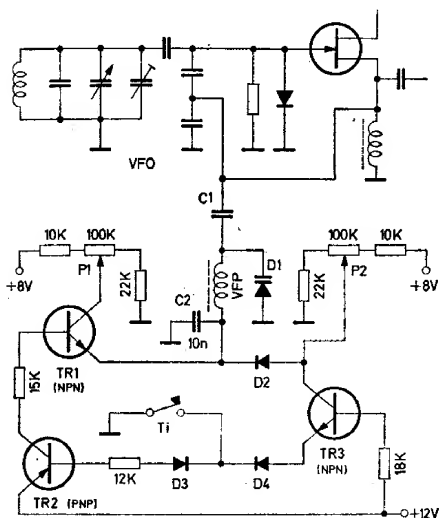
Kontakti preklopnika a i b prebacuju se iz jednog položaja u drugi relejem, ali je moguće i potpuno elektroničko prekapčanje, kako je to ostvareno u sljedećem primjeru, koji pokazuje sl. 16-4. Nacrtan je isti VFO, kao i na sl. 16-3. Razlika je u tome da je varikap-dioda D_1 spojena na srednju tačku, između onih kondenzatora u kapacitivnom razdjelniku koji imaju velik kapacitet. Zato i D_1 mora omogućiti veću promjenu kapaciteta. Kolika će ta promjena biti u odnosu na VFO, ovisi i o kondenzatoru C_1 . Ako je on većeg kapaciteta, bit će promjena frekvencije veća i obrnuto.

T_i je ili Morse-ovo tipkalo za telegrafiju ili prekidač za prelaz prijem-predaja. Zanimljivo je proučiti šta se tu događa.

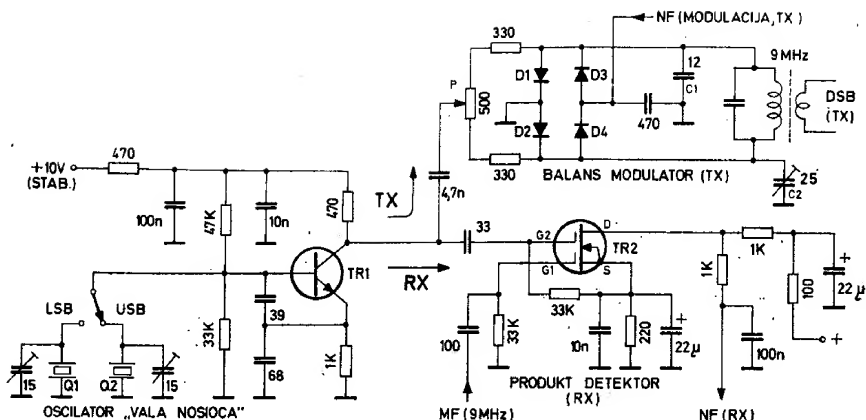
Prednapon varikap-diode je određen ili sa P_1 ili sa P_2 . Oni su spoje-

ni sa izvorom vrlo konstantnog napona (8 V). Dok je tipkalo T_i otvoreno, tranzistor TR_3 ne vodi struju, baš kao ni TR_2 ni TR_1 . Dioda D_2 , međutim, prevodi struju i varikap (D_1) dobije prednapon koji je određen potencijometrom P_2 . Kad se zatvori kontakt kod T_i , tranzistor TR_3 provede i kratko spoji napon koji dolazi od P_2 . Istovremeno provede i TR_2 . On otvori tranzistor TR_1 i preko ovoga na varikap dođe prednapon, određen potencijometrom P_1 . Pritom je dioda D_2 u zapornom stanju (»plus« joj je na katodi!) i ona nema utjecaja na rad sklopa. Kod telegrafije se prednapon varikap diode u trenu promijeni tako da je frekvencija koju za vrijeme emisije proizvodi VFO potpuno neovisna o položaju potencijometra P_2 . On može frekvenciju mijenjati samo onda ako je T_i otvoren, tj. za vrijeme prijema.

Treći primjer ovakvog VFO-a, ovaj put sa bipolarnim silicijevim tranzistorom u oscilatoru tipa



Sl. 16-4. Električni sklop koji omogućuje neovisno popravljjanje frekvencije za vrijeme prijema, bez upotrebe releja



Sl. 16-5. Isti oscilator sa kvarcovim kristalima može u primopredajniku raditi kao »generator vala nosioca« za predajnik (TX) i kao pomoćni, lokalni oscilator za demodulaciju (BFO) za prijemnik (RX). Opis u tekstu

Clapp, opisan je uz sl. 16-19, na str. 506, uz primopredajnik za samogradnju.

Oscilator »vala nosioca« ujedno je i BFO

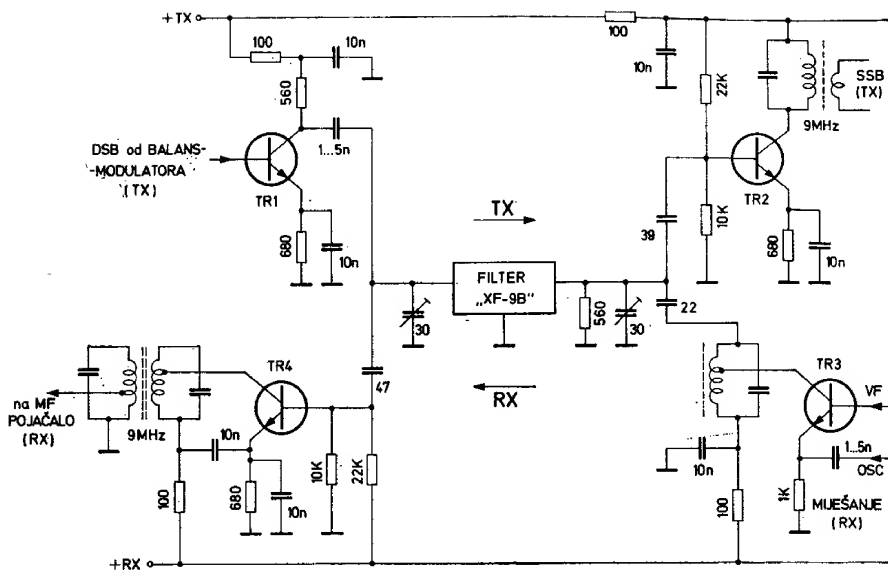
Tranzistor TR_1 (sl. 16-5) radi kao kvarcov oscilator, potreban za pravilan rad »balans modulatora« (DSB generatora) u predajnom dijelu nekog primopredajnika. Tu su i dva kristala, Q_1 i Q_2 , jedan za gornji i drugi za donji bočni pojas. Njihove se frekvencije mogu dovesti na »prave« vrijednosti pomoću malih trimerskih kondenzatora (od po 15 pF). Oscilacije tako odabrane frekvencije uzimaju se iz kolektorskog strujnog kruga i odvođe u dva smjera. Jednim smjerom (preko 4,7 nF) titraji odlaze, za potrebe predajnika (TX), prema potencijometru P i dalje u balans-modulator do četiri diode, gdje nastaje DSB-signal sa potisnutim valom nosiocem. »Simetriranje« modulatora postiže se tim potencijometrom, kao i trimerskim kondenzatorom C_2 . Istovremeno, preko kondenzatora manjeg kapaciteta (33 pF) oscilacije odlaze prema pro-

dukt-detektoru prijemnika (RX). Kod MF ovamo ulazi međufrekventni signal koji primamo. Iza demodulacije, u TR_2 , možemo kod NF dobiti niskofrekventne struje koje odvodimo dalje u NF pojačalo. Produkt detektor je uključen samo za vrijeme prijema, kada je napajanje (+) prebačeno na sve prijemne dijelove uređaja.

Detaljnije o funkciji pojedinih sklopova na ovoj slici može se naći u poglavljima o prijemnicima i o SSB-telefoniji.

Jedan filter za dvije zadaće

Dobri kvarcovi filteri, koji mogu poslužiti da se u predajniku od DSB-signala dobije SSB-signal, kao i oni još selektivniji (za telegrafiju), razmjerno su vrlo skupi. Zato je razumljivo nastojanje da se u primopredajnicima za postizanje SSB-signala, kao i za osiguranje potrebne selektivnosti u međufrekventnom pojačalu prijemnika, za obje ove zadaće upotrebi samo jedan filter. To bi se moglo postići na više načina. Jedan od njih bio bi pomoću releja, tako da se relejima isti filter prebacuje iz strujnih kru-



Sl. 16-6. Međufrekventni kristalni filter u primopredajniku je upotrebljen i kod prijema i kod predaje. Vidi tekst

gova predajnika u strujne krugove prijemnika. Ali, takvim se putem ne ide. Uštedivši jedan filter morali bismo upotrebiti i dva specijalna releja koji također nisu baš jeftini! Bolje je odabrati drukčiji put.

Jedan od takvih puteva vidimo na sl. 16-6. U predajnom dijelu se tranzistor TR_1 nalazi iza balans-modulatora i pojačava DSB-signal (dva bočna pojasa sa potisnutim valom nosiocem). Otuda DSB-signal odlazi kroz filter. Ovdje se ukloni neželjeni bočni pojas pa preostaje čist SSB-signal, tj. samo jedan bočni pojas. Ovaj odlazi na tranzistor TR_2 , pojača se i odlazi dalje u sljedeće stupnjeve predajnika. Pri tome napajanje dolazi samo preko +TX. Preostala dva tranzistora na slici su izvan funkcije, jer za njih napajanja nema!

Za vrijeme prijema je napajanje kod +TX prekinuto, a uključeno je samo kod +RX. Zato su sada tranzistori TR_1 i TR_2 izvan funkcije, kao i čitav predajnik. Tranzistor

TR_3 neka bude u stupnju za miješanje u kojemu primani signal dolazi kod VF. Oscilatorski titraji dolaze kod OSC iz VFO-a kojim odabiramo ono što želimo primati. Razumije se da na ovom mjestu može biti i bilo kakav drugačiji stupanj za miješanje, ali nacrtali smo ovaj sa TR_3 da shema bude što jednostavnija.

Međufrekventni signal se iz stupnja za miješanje vodi kroz kristalni filter i dalje u međufrekventno pojačalo na ulazu kojega je tranzistor TR_4 .

Smjerom TX (vidi strelicu!) prolazi signal kroz filter za vrijeme emisije a suprotnim smjerom, RX, prolazi signal za vrijeme prijema. U prvom slučaju filter sudjeluje kod pripremanja emitiranog signala. U drugom slučaju filter određuje selektivnost međufrekventnog pojačala. Za filtere, kao što je »XF-9B« i njemu slični, potrebno je da na ulazu filtera bude određena impedancija. Ona se re-

dovito postiže paralelnim spojem otpora ($500\ \Omega$) i malog kapaciteta ($30\ \text{pF}$), što je dovoljno dobro postignuto na način koji je vidljiv sa sl. 16-6. Ovakva upotreba filtera daje u praksi vrlo dobre rezultate.

»Bilateralni« sklopovi za primopredajnike

U nekim se primopredajnicima mogu naći i vrlo zanimljivi, tzv. *bilateralni* ili *dvosmjerni* sklopovi za različite svrhe.

Bilateralno visokofrekventno ili međufrekventno pojačalo možemo vidjeti u primjeru na sl. 16-7. TR_1 i TR_2 su dva visokofrekventna tranzistora (npr. BF167). Otpornik R_1 ima vrijednost koju bi imao za *samo jedan* tranzistor, budući da nikad nisu uključena oba tranzistora. Otpornici R_2 i R_3 , te R_5 i R_6 pripadaju normalnim razdjelnicima napona za napajanje baze.

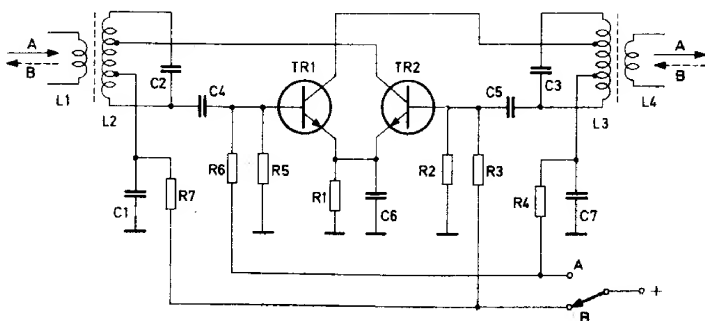
Kada je pozitivni pol izvora napajanja (+) preklapnikom spojen na B, uključen je tranzistor TR_2 . Pojačati se može samo onaj signal koji dolazi s desne strane, *smjerom* B. Zavojnica L_4 je ulazna, a zavojnica L_1 je izlazna u takvom pojačalu. *Tranzistor TR_1 ne radi!*

Prebacivanjem preklapnika na A ostaje tranzistor TR_2 bez pogonske struje. Napaja se tranzistor

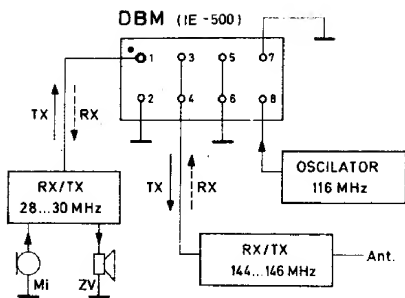
TR_1 i pojačalo sada može raditi *obrnutim smjerom* (A). Zavojnica L_1 je na ulazu, a zavojnica L_4 je na izlazu pojačala!

Još je zanimljiviji sklop za *miješanje* sa »bilateralnom« primjenom. To je moguće postići pomoću tzv. dvostruko balansiranog miksera (DBM, vidi i str. 190, 262 i 263). Jednu takvu mogućnost vidimo na sl. 16-8. Napisane frekvencije su one kod kojih se taj način miješanja najčešće upotrebljava, ali *moгу biti i drukčije odabrane, prema potrebi*.

Upotrebljen je minijaturni mikser »IE-500« koji može poslužiti *od dugovalnih do UKV frekvencija*, sve do 500 MHz. Njegova unutrašnja građa je već ranije opisana. Na slici je pogled sa donje strane, na 8 priključnica koje su raspoređene poput onih na integriranim sklopovima u DIL-kućištima. Priključnice br. 2, 5, 6 i 7 su uzemljene. Sa priključnicom br. 1 je spojen primopredajnik (RX/TX) s kojim raspolazemo (npr. za opseg 28 do 30 MHz). Priključnice br. 3 i 4 su međusobno spojene i one su u vezi sa nekim *primopredajnim »transverterom«* tj. uređajem kojim se može primati neko poželjno valno područje za koje nemamo uređaje (npr. 144 do 146 MHz). Tu treba da bude i predajni konvertor za isto područje (o konvertorima vidi u poglavljima o UKV prijemnicima i



Sl. 16-7. Primjer VF ili MF pojačala koje može raditi u dva smjera (»bilateralno«). Opis u tekstu



Sl. 16-8. Princip upotrebe dvostruko simetričnog miksera (»DBM«) za »bilateralno« miješanje signala u transverterima

UKV predajnicima, kao i kasnije u ovom poglavlju, str. 526. Oscilator koji je potreban za konverziju (promjenu frekvencije miješanjem!) spojen je na priključnicu br. 8.

Put signala kod prijema označen je strelicama RX, dok je put signala kod emisije označen strelicama TX. Ovdje je naznačen samo princip, dok konstruktorima prepuštamo da se sa rješenjima pojedinih detalja sami zabave. Na kraju želimo napomenuti da navedeni DBM tipa »IE-500« ne podnosi veliku snagu iz primopredajnika RX/TX. Ona neka bude oko 50 do najviše 100 mW. Pojačanje snage može slijediti tek iza transvertera za željeno područje frekvencija, na njegovom izlazu prema anteni (Ant).

SAVREMENI KRATKOVALNI PRIMOPREDAJNICI

Primopredajnici za sve kratkovalne opsege

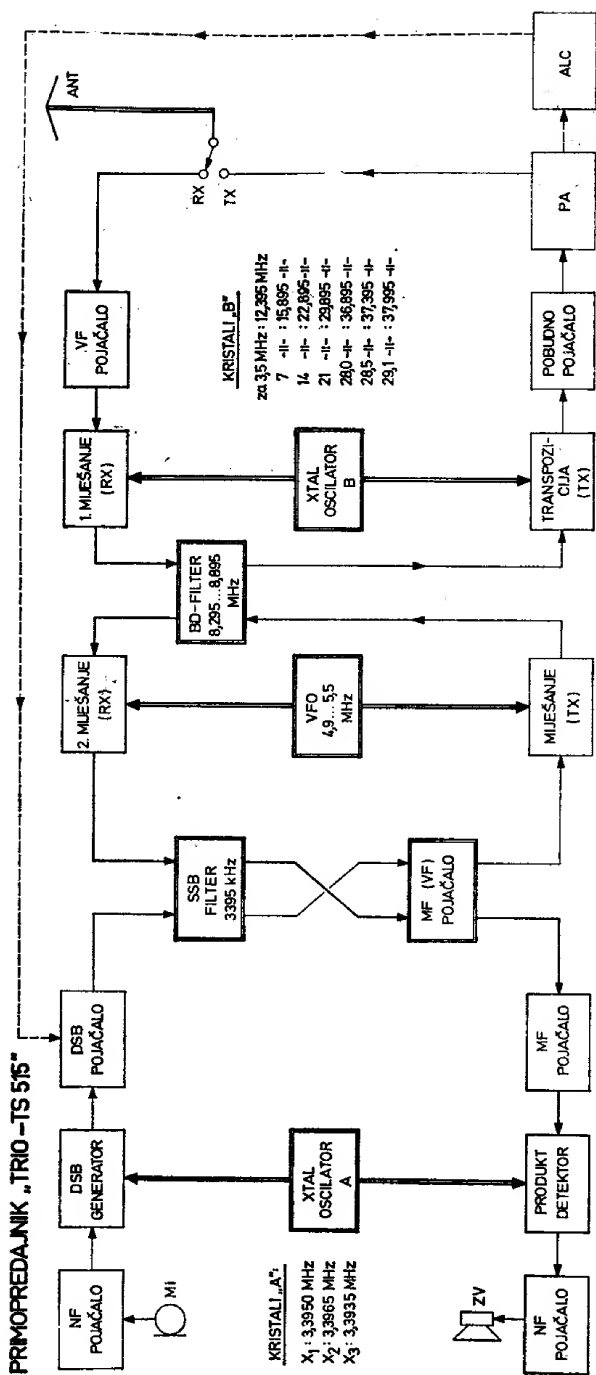
Mali primopredajnik koji smo opisali na sl. 16-1b omogućuje rad samo na jednom amaterskom opsegu i samo telegrafijom. Onaj na sl. 16-2 mogao bi raditi i SSB-telefonijom, ali najviše na dva kratkovalna opsega.

Da se omogući rad na svim kratkovalnim opsezima i ne samo telegrafijom, potrebne su opsežnije i zamršenije konstrukcije, koje više nisu lako pristupačne za samogradnju.

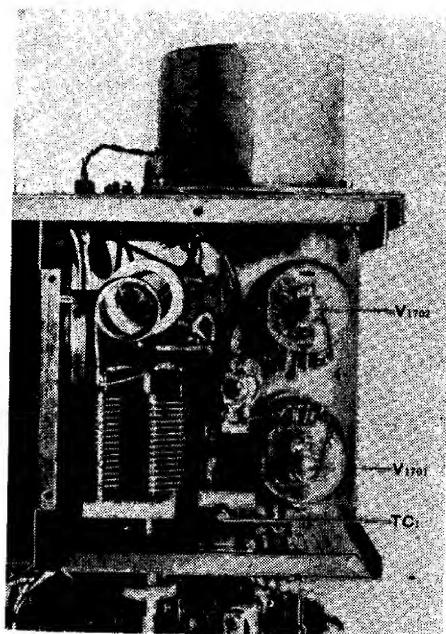
Mnogi naši radio-amateri imaju u svojim klubovima i kod kuće vrlo dobre primopredajnike tvorničke izrade. Jedan od njih je poznati (nekima samo izvana! HI) »TRIO-TS 515«. Njegovu blok-shemu, u pojednostavljenom obliku, prikazuje sl. 16-9.

Započnimo sa predajnim dijelom. NF pojačalo, na koje je priključen mikrofonski Mi, predaje audiofrekventne struje DSB-generatoru. Ovdje se, uz sudjelovanje »injekcije« iz XTAL OSCILATORA A najprije dobije DSB-signal, tj. oba bočna pojasa, ali sa potisnutim valom nosiocem. To se pojača u DSB POJAČALU i dalje vodi kroz SSB FILTER (3395,0 kHz) da bi preostao samo jedan bočni pojas. Hoće li to biti gornji ili donji bočni pojas, ovisi o tome koji je kvarcovi kristal bio u oscilatoru A uključen, X₂ ili X₃. Iza VF pojačanja SSB signala on dolazi u stupanj za MJEŠANJE (TX), prolazi kroz band filter (8,295 ... 8,895 MHz) i stiže u drugi stupanj za miješanje. Tu se izvrši TRANZPOZICIJA (TX) SSB-signala u ono kratkovalno područje koje nam je upravo potrebno. Za tu transpoziciju treba, razumije se, odabrati odgovarajuću frekvenciju. Ovu daje XTAL OSCILATOR B pomoću jednoga od kvarcovih kristala »B«. Njihove su frekvencije popisane na sl. 16-9.

Pobudno pojačalo i izlazni stupanj predajnika (PA, sl. 16-9) podignu snagu signala na stotinjak vata. Posebni ALC stupanj sprečava da pobuda postane prevelika, kada izlazni stupanj više ne može raditi u linearnom režimu pojačanja. U ALC-stupnju se, kod prejakih signala, stvara pomoćni napon. Ovaj, doveden u DSB pojačalo, smanji pojačanje na način kako se to događa



Sl. 16-9. Blok shema primopredajnika »TS-515« koji se još može naći u našim radio klubovima. Zajednički stupnjevi su dvostruko uokvireni. Okviri sklopova predajnog dijela nacrtani su malo tanje od okvira onih sklopova koji pripadaju prijemnom dijelu. Opis u tekstu. Uporedi sa blok-shemom na sl. 16-2 i potraži razlike!



Sl. 16-10. Pogled u pregradak izlaznog stupnja primopredajnika »FT-101« ili »FT-277«, kad se skine oklop od perforiranog lima. Valjčasti oklop (na slici gore) sadrži mali motor s ventilatorom za hlađenje izlaznih cijevi, TC₁ je trimerski kondenzator za neutralizaciju

kod automatske regulacije u prijemnicima (ARP).

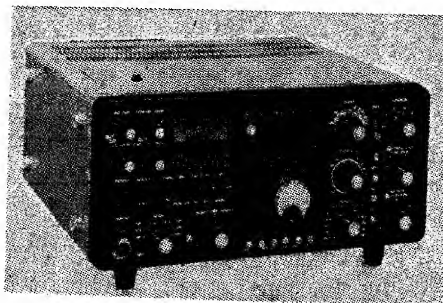
Frekvenciju na kojoj radi predajnik, unutar izabranog opsega, određuje VFO. To je vrlo stabilan oscilator kojemu se frekvencija može mijenjati između 4,9 i 5,5 MHz. Budući da je VFO zajednički za prijem i za predaju, ugrađen mu je i poseban uređaj sa varikap-diodom za fino mijenjanje frekvencije kod prijema (R.I.T.).

Kod prijema je antena spojena na ulaz VF POJAČALA iza kojega slijedi 1. MIJEŠANJE (RX). Iza o-vo-ga je BD-FILTER (8,295...8,895 MHz), koji je služio i za vrijeme rada predajnika. On se ponovno koristi i kroz taj filter signal odlazi u

stupanj za 2. MIJEŠANJE (RX). Prvo miješanje nazivaju i »predmiješanjem« (»premix«) je se u njemu, koristeći XTAL OSCILATOR B, dolazi najprije na prvu međufrekvenciju, da se onda pomoću VFO-oscilatora postigne druga međufrekvencija (3395 kHz). Isti kristalni SSB-filter, kod prijema, propusti signal koji želimo čuti. Iza toga signal odlazi u stupanj za MF pojačanje. U PRODUKT-DETEKTORU se SSB-signal demodulira uz sudjelovanje XTAL OSCILATORA A. Poslije pojačanja u NF pojačalu možemo ga onda čuti iz zvučnika ZV.

Za telegrafiju postoji u XTAL OSCILATORU A poseban kvarcov kristal X₁. Pritom se, u najjednostavnijem slučaju, može telegrafskim tipkalom (nije nacrtano!) prekidati rad toga oscilatora.

Slijedeće »generacije« kratkovolnih primopredajnika, od kojih ćemo samo nabrojati oznake onih koje se kod nas mogu naći: FT-101 Z, FT-101 ZD, FT-107 M, FT-707, FT-707 S, FT-902 DM (sl. 16-20) i drugi, ne samo da omogućuju rad i na novim amaterskim opsezima (12,



Sl. 16-11. »YAESU FT-902 DM« je primopredajnik koji sadrži mnogo zanimljivih sklopova i pruža velike mogućnosti za rad na svim amaterskim opsezima i sa svim vrstama modulacije (uračunavši FM i AM!). Predviđeni su i budući novi opsezi. Za amatera konstruktora je možda najzanimljiviji onaj dio kojemu je princip opisan u vezi sa slijedećom slikom

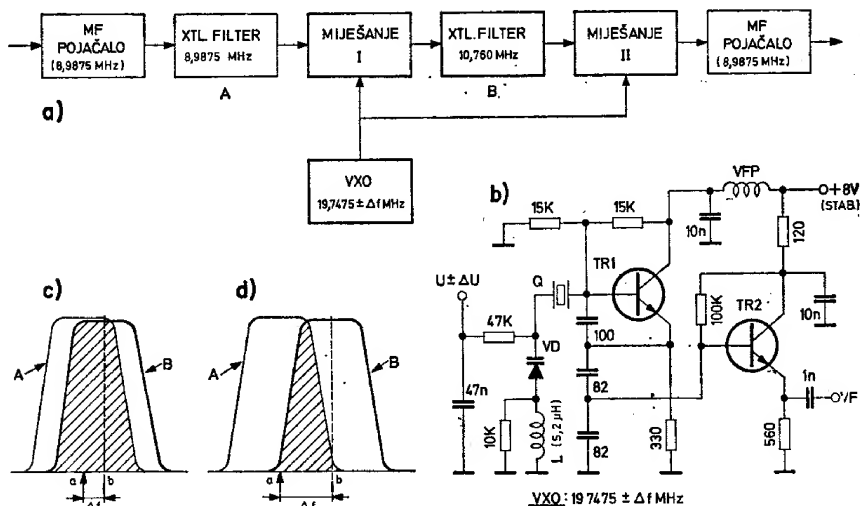
17 i 30 m) na kojima će se u budućnosti, vjerojatno, moći raditi, nego sadrže i više novih tehničkih rješenja, od kojih će neka i amateri moći primijeniti u svojim gradnjama. Predaleko bi nas odvelo kad bismo govorili o svim, veoma interesantnim novitetima, ali jednome od njih ćemo »žrtvovati« malo prostora. To je *kontinuirana promjena selektivnosti kristalnih filtera*.

Kristalni filteri u međufrekventnom pojačalu su danas standardna oprema savremenih prijemnika. Oni osiguravaju veliku selektivnost, danas — zbog vrlo mnogo aktivnih radio-amatera u cijelom svijetu — toliko potrebnu! Kako smo već pokazali, govoreći o prijemnicima (poglavlje 9) kvarcovi filteri redovito imaju određenu selektivnost sa oštro ograničenim opsegom propusnih frekvencija. Želimo li mijenjati selektivnost prijemnika, moramo imati više kristalnih filtera i onda jedan zamijeniti s drugim. To

je dobro rješenje, ali bi bilo još bolje *kad bi se selektivnost mogla postepeno mijenjati* i tako prijem prilagoditi postojećoj situaciji »u eteru«. To nam upravo omogućuje MF pojačalo prema sl. 16-12.

Pretpostavimo da je srednja frekvencija međufrekventnog pojačala 8,9875 MHz. Prema sl. 16-12a međufrekventni signal odlazi najprije u kristalni filter iste srednje frekvencije. Propusni opseg neka mu je 2,4 kHz, koliko je potrebno za prijem SSB-signala.

Iza toga slijedi *stupanj za miješanje I* u kojemu se pomoću oscilatora (VXO), koji radi na frekvenciji 19,7475 MHz, postiže nova (pomoćna!) međufrekvencija. Signal kojemu je sada srednja frekvencija 10,760 MHz odlazi u drugi kristalni filter. Njegova je srednja frekvencija također 10,760 MHz. Širina propusnog opsega je opet 2,4 kHz što omogućuje da signal koji primamo nesmetano prođe. Kad SSB-signal



Sl. 16-12. Mogućnost postepenog mijenjanja selektivnosti primjenom dvaju međufrekventnih kvarcovi filtera sa različitim centralnom frekvencijom i propusnim opsegom od 2,4 kHz: a) principijelna shema; b) pomoćni oscilator kojemu se frekvencija može mijenjati u uskim granicama ($\pm \Delta f$); c) rezultirajuća selektivnost uz manju i d) uz veću promjenu frekvencije pomoćnog oscilatora. Propusni opseg je šrafiran. Vidi tekst

stigne do drugog stupnja za miješanje (II) sa istom oscilatorskom frekvencijom ponovno se postiže početna međufrekvencija koja odlazi dalje u MF pojačalo i slijedeće stupnjeve prijemnika. Sa SSB-signalom se još nije ništa posebno dogodilo.

Do promjene selektivnosti dolazi, *ako se malo promijeni frekvencija oscilatora*. Taj oscilator je VXO, tj. oscilator s kvarcovim kristalom kojemu se frekvencija može »vući«, prema sl. 16-12b. Mijenjamo li prednapon u varikap-diode VD, mijenjat će se i frekvencija oscilatora jer je kapacitet diode u seriji sa kristalom. Promjeni napona na VD ($\pm \Delta U$) odgovara neka promjena frekvencije ($\pm \Delta f$). Opseg propuštenih frekvencija (koje su već prošle kroz prvi XTL-filter) neće moći više čitav proći kroz slijedeći kristalni filter. Drugi XTL-filter zbog toga »odsijeće« jedan dio opsega. Koliko će to biti, ovisi o tome *koliko je promijenjena frekvencija oscilatora VXO*. To može biti, u određenim granicama, za manje (sl. 16-12c) ili više (sl. 16-12d). Šrafirano je prikazan onaj dio frekvencija koje takav uređaj može propustiti. Otuda vidimo da se na ovaj način može mijenjati selektivnost od neke najmanje (2,4 kHz) do neke najveće (nekoliko stotina Hz). Promjenljivi oscilator (VXO) mora biti s kvarcom. Njegova stabilnost mora biti vrlo velika da bi se mogla održati jednom odabrana selektivnost prijema.

Tehničkih rješenja koja su vrlo zanimljiva još ima. Tu osobito mislimo na ona kod kojih je primopredajnik spojen sa mikroprocesorima za elektroničko, automatsko čitanje i kucanje telegrafskih znakova ili pisma dalekopisača. Također je zanimljivo i spajanje radio-stanice sa elektroničkim računalima (»kompjuterima«) kojima se može voditi evidencija održanih veza, poslanih i primljenih QSL-karata i slično.

U krajnjem slučaju, takvi uređaji mogu preuzeti i ulogu operatora i samostalno održavati neki programirani oblik radio-veze. Ipak, kolikogod to bilo sa tehničke strane interesantno, *pitanje je kakav utjecaj može imati na sposobnosti samih radio-operatora!?* — Uostalom, ova bi tema ionako izašla iz okvira koji je predviđen za ovaj priručnik!

KRATKOVALNI PRIMO-PREDAJNIK ZA SAMOGRADNJU

Prije odluke treba razmisliti: šta i kako?

Kad bi radio-amater, koji voli sam graditi svoje uređaje, pošao tim putem da odabere, npr., neki od poznatih tvorničkih primopredajnika i da ga »jednostavno« kopira, bio bi to promašaj! Prva poteškoća, nerješiva za amatera, bilo bi nabavljanje svih sastavnih dijelova koji bi potpuno odgovarali predviđenoj svrsi. Osim toga »kopiranje« uređaja, bez potpunog razumijevanja funkcije svakog detalja, bez mjernih instrumenata za kontrolu i za postizanja optimalnog rada svih stupnjeva i svih sklopova, dovelo bi do potpunog neuspjeha. Tvornice trebaju po više godina intenzivnog razvojnog rada da konstruiraju prototip koji je sposoban za proizvodnju i koji može zadovoljiti svim zahtjevima. *Tim putem nema smisla ni pokušati*. Daleko je bolje da za svoj konstruktorski rad amater odabere *najprije jednostavnije uređaje*. I gradnja primopredajnika neka bude najprije što je moguće jednostavnija i *postepena*. Gdje se išlo odmah na neki veliki projekt, često se nije dalje došlo od početka. Započeti radovi, na koje se onda godinama skuplja prašina, ne služe ničemu!

Pokušat ćemo ovdje pokazati kako se može, korak po korak, načiniti primopredajnik dobrih svojstava.

A potreban radio-materijal i dijelovi? — Kod nas se mnogo toga proizvodi što je u radio-tehnici potrebno. I kvaliteta je potpuno suvremena. Istina je, mnogo se izvozi, pa se za neke proizvode znade samo u krugu najužih stručnjaka. Naše su tvornice već više puta izjavile kako su radio-amaterima voljne izaći u susret. Jedini je uvjet da se organizirano pristupi nabavkama. A proizvodi se sve što nam treba u amaterskom radu! Prilagodimo konstrukcije tim mogućnostima!

Opis uređaja, o kojemu će ovdje biti govora, izašao je pod naslovom »QRP-80, KRATKOVALNI PRIMO-PREDAJNIK ZA SAMOGRADNJU« u našem časopisu »Radioamater«, u nekoliko nastavaka, započevši sa brojem 7/8-1984. (Upozoravam i na niz članaka o takvim uređajima u časopisu »ABC TEHNIKE«, br. 276, 277, 278 i 279 iz 1984. godine).

Uređaj je nastao u okviru aktivnosti konstruktorske sekcije »Radio kluba Zagreb«, osobito iz suradnje YU2BR i YU2CO. Primopredajnik posebno odgovara potrebama operatorske »F« klase za koju se predviđa radio-stanica F-kategorije. Tu je predviđen rad CW-telegrijom (CW je kratica od engl. »Code Work«, gdje se pod »code« misli, u prvom redu, na Morseove telegrafske znakove!). Snaga ne smije biti veća od 10 W. Predajnik treba da radi s kvarcovim kristalom kojemu je frekvencija u opsegu od 3565 do 3575 kHz. Postoje neka mišljenja da bi se toj, tzv. »početnoj« operatorskoj klasi moglo dozvoliti rad u širem opsegu (3500 do 3600 kHz) uz promjenu frekvencije (VFO). O tome će odlučiti novi pravilnik, ali smatramo da se i ta radna mogućnost mora predvidjeti, tim više jer takva konstrukcija malog primopredajnika može interesirati i one »naprednije«, posebno operatore koji žele sagraditi i upotrebljavati »QRP«.

QRP? — To je, da se podsjetimo, radio-amaterska kratica koja, ova-

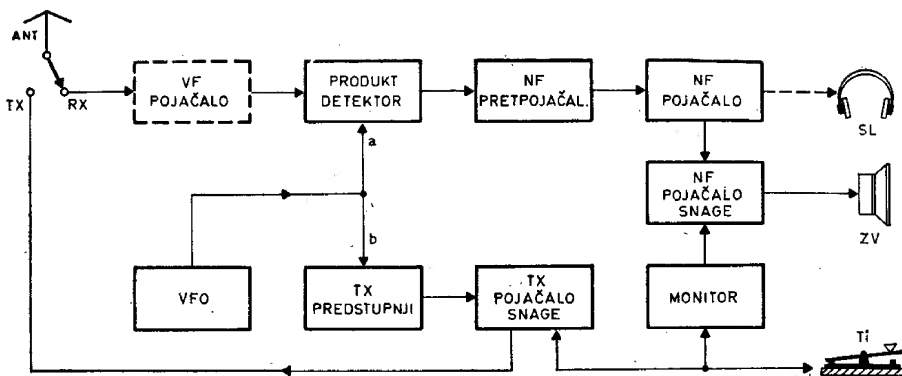
ko sa znakom pitanja, kaže: »Da li da smanjim snagu predajnika?« — Da! To je preporučeno općenitim pravilom: »Ne treba upotrebljavati veću snagu od one koja je dovoljna za uspješno održavanje veze!« Zato: »QRP = smanjite snagu predajnika!« To je dobro i zbog smanjivanja smetnja drugim amaterima (QRM) i drugim radio-uređajima (BCI i TVI). Omogućuje i štednju energije, zatim rad u uvjetima kad nema struje u električnoj mreži, kao i radio-veze u drugim izuzetnim prilikama.

Prvi zahtjev koji smo si postavili bila je upotreba domaćeg materijala, bez izuzetka! Drugi zahtjev: suvremen uređaj, potpuno tranzistoriziran! Treće: primijeniti najnužniji broj stupnjeva, ali da stabilnost emitiranog signala, njegov ton i čistoća odgovaraju današnjim zahtjevima; da postoji monitor za kontrolu emitiranih znakova; prijemnik da bude dovoljno osjetljiv, da ima svoju korekciju ugađanja (R.I.T.); prijem da bude na zvučnik ili na slušalice; prekapčanje »prijem/predaja« da bude što jednostavnije, bez skupih releja. I četvrto: samo najnužniji utrošak materijala da uređaj ne bude skup.

Općenito, takav primopredajnik trebao bi stupnjeve koji su nacrtani na blok-shemi, sl. 16-13. Oscillator, VFO, sa promjenljivom frekvencijom (ili kristalni oscillator za operatore F-klase!) upravlja radom predajnika. Ovaj mora, uz neke predstupnjeve, imati i izlazno pojačalo snage iz kojega odlazi u antenu.

Ukoliko predajnik radi s kristalom, VFO je ipak potreban za rad prijemnog dijela uređaja.

Želimo li da potrošak materijala i cijena budu što manji, prijemnik ne može biti superheterodin. Zadovoljit ćemo se jednostavnijim prijemnikom. Ni tzv. »audion« ne ćemo graditi. Audioni pripadaju prošlosti i ne odgovaraju današnjoj situaciji na amaterskim opsezima gdje je vrlo gust saobraćaj,



Sl. 16-13. Blok-shema malog primopredajnika. Opis u tekstu

a signali — osobito navečer — vrlo jaki. Danas je kao demodulator (za CW i SSB) ovome dorastao samo »produkt-detektor« sa lokalnim oscilatorom.

Današnji »pasivni« produkt-detektori sa diodama najbolje podnose vrlo jake signale, a osjetljivi su i na slabije, ali u njima signali razmjerno jako oslabe (—6 do —8 dB). Zato se najčešće ispred takvog demodulatora mora upotrebiti visokofrekvencijsko (VF) pojačalo. Samo, vrlo rijetki su tvornički uređaji kod kojih je produkt-detektor u prvom stupnju, bez VF-pojačala (npr. u primopredajnicima »Atlas«). U takvima onda mora postojati snažno međufrekventno pojačalo.

Mi toga MF pojačanja nećemo imati pa je čitavo pojačanje signala u niskofrekventnim stupnjevima (NF pretpojačalu i NF pojačalu). Moramo upotrebiti ili *produkt-detektor* u kojemu će se signal pojačati (s tranzistorima) ili moramo primijeniti posebno *niskofrekventno pretpojačalo s velikim pojačanjem i malenim vlastitim šumom*.

Visokofrekventno pojačalo ispred produkt-detektora bi dobro došlo po danu, kad su signali u 80-metarskom opsegu razmjerno slabi. Međutim, upotreba VF pojačala može biti nezgodna za neiskusnog graditelja (»divlje« oscilacije!), a za-

htjeva i regulaciju pojačanja, osobito pred večer i po noći, kad su signali mnogo puta jači. Sjetimo se starog radio-amaterskog iskustva: »Dobra resonantna antena je najbolje visokofrekventno pojačalo«. I, malošumno! Zato ćemo odustati od VF pojačala i upotrebiti dobru antenu!

Na našoj blok-shemi (sl. 16-13) nacrtano je prebacivanje antene ili na ulaz prijemnog ili na izlaz predajnog dela. To ćemo načiniti »modernije«, ali o tome kasnije!

Što se tiče sklopa koji je označen kao »monitor«, upotrebit ćemo najobičniji tranzistorski multivibrator kojemu ćemo struju napajanja prekidati Morse-ovim tipkalom (Ti) za vrijeme kucanja telegrafije.

Kako započeti? Kojim redom graditi?

Neki počinju od antenskog ulaza gradeći najprije prijemnik ili — još gore — predajnik. Ne! Nećemo tako! Naš početak će biti kod izlaznih stupnjeva prijemnog dijela! Ako tako radimo, moći ćemo svaki njegov dio odmah isprobati. Tako ćemo isključiti naknadno, često vrlo mučno, traženje pogreške. Nastavit ćemo tako da i slijedeće sklopove gradimo takvim redom,

tranzistorima (dok nema NF signala) teče slaba kolektorska struja. O tome se brine razdjelnik napona koji se sastoji, redom, od R_5 , D_1 , D_2 i R_6 .

Budući da su tranzistori silicijski, i diode D_1 i D_2 moraju biti silicijske. One mogu biti bilo kojeg tipa, od manjih, sa oznakom BA..., do onih većih sa oznakom BY... Glavno je da su silicijeve i da su istog tipa. Ove diode doprinose i termičkoj stabilizaciji pojačala.

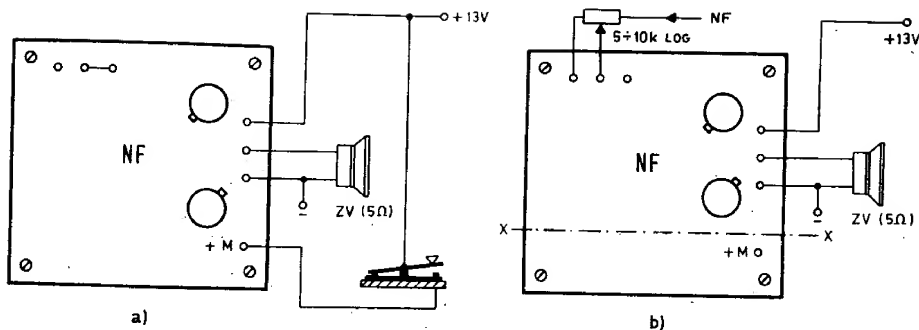
Vrijednosti otpornika R_5 i R_6 neka budu međusobno jednake. Odrediti ih treba mjerenjem jakosti kolektorske struje kod »X«. Tu je predviđen kratkospojnik. Njega treba ukloniti i priključiti miliampermetar. Ako ovdje, uz pogonski napon od 12 do 13 V, teče struja jaka između 5 i 10 mA (recimo 7, 8 ili približno toliko), otpori su dobro odabrani. Ako je ta struja 5 ili manje mA, oba otpornika treba zamijeniti s drugima koji imaju malo manju vrijednost. Ako je kolektorska struja 10 ili više mA, vrijednost otpornika R_5 i R_6 mora biti malo veća. Kad smo postigli da kolektorska struja, mjerena kod »X«, ima navedenu vrijednost, možemo na mjesto »X« vratiti kratkospojnik. Sada možemo još kontrolirati potencijal tačke »Z« koja je zajednička otpornicima R_7 i R_8 . Na tu tačku spojimo pozitivni pol nekog voltmetra s malim potroškom struje (barem 10 kΩ/V). Negativni pol voltmetra spojimo s kolektorom tranzistora TR_2 koji je u vezi s »masom« i negativnim polom izvora struje napajanja. Napon između te dvije tačke mora biti jednak polovici napona napajanja. Ako su diode podjednake, a otpornici R_5 i R_6 tolerancije od 5%, to će se stanje uspostaviti sa dovoljnom tačnošću.

Pobudu komplementarnog tranzistorskog para osigurava operacijsko pojačalo IL 741. Ono je u takvom spoju da može biti priključeno na isti pogonski napon, kao i izlazni par tranzistora. Napon od 12 do 13 V dovodi se između priključaka

4 i 7, a polovina toga napona na priključak 3. Ovome služi razdjelnik R_3/R_4 . Na isti priključak (3) integriranog sklopa dovodimo i niskofrekventne oscilacije iz monitora, preko C_6 i R_9 . Pri tom te oscilacije budu oslabljene više od 10 puta. Kondenzator C_7 ih zajedno s otpornikom R_9 , još i filtrira, uklanjajući mnoge više harmonične frekvencije. Tako ton, koji se preko zvučnika čuje, nije preglasan i ima vrlo ugodnu boju.

NF struje iz prijemnika imaju svoj, odijeljeni, ulaz. Njih najprije vodimo na potencijometar P (5 do 10 kΩ, logaritmički, sa prekidačem) koji će nam služiti za regulaciju glasnoće. Od klizača ovog potencijometra NF signal odlazi preko C_1 i R_1 na priključak 2. Pojačanje NF signala ovisno je, uglavnom, o omjeru R_2/R_1 . Uz navedene vrijednosti pojačanje će biti negdje između 7 i 10 puta. Više nam neće biti potrebno, jer će (u primopredajniku »QRP-80«) ovamo iz prijemnog dijela već stizati dosta jaki signal. Ukoliko nam za druge svrhe treba veće pojačanje, lako ga postizemo jednostavnim povećanjem vrijednosti otpornika R_2 . Ako je $R_1 = 10$ kΩ, onda je uz R_2 od 0,5 morna pojačanje oko 50 puta. Ako ovome dodamo i pojačanje u izlaznom stupnju, onda je to za većinu potreba sasvim dosta. Jednak učinak bismo postigli smanjivanjem vrijednosti otpornika R_1 .

U posebnoj prilogu, na kraju knjige, pod oznakom I_a , vidi se izgled »štampane« pločice s donje strane. Bakrena folija je samo sa jedne strane. Ovo je pogled na ostatke bakrenog sloja. Ako nikada niste sami pravili takve pločice, potražite savjet od nekoga iz vašeg radio-kluba. Tamo će se već naći netko da vam pomogne. Raspored dijelova na gornjoj strani pločice (obrnutoj strani od one na kojoj je bakar!) prikazan je također tamo. Označen je kao I_b . Oznake dijelova odgovaraju onima na shemi, sl. 16-14.



Sl. 16-15. Upotreba niskofrekventnog pojačala »NFP/Z«: a) kao zujalica za učenje telegrafije; b) kao NF pojačalo za detektorski prijemnik, gramofonsku zvučnicu i sl. Vidi tekst

Ako uklonimo vezu sa potencijometrom P , a kod »Zu« stavimo kratkospojnik (jednostavan komadić žice!), može nam isti uređaj poslužiti još za jednu korisnu svrhu (vidi sl. 16-15a). To pojačalo je sada pretvoreno u »zujalicu« za učenje telegrafije. Zvučnik ZV neka ima impedanciju od 5 do 8 Ω . Pogonski napon neka bude oko 12 ili 13 V (tri plosnate džepne baterije u seriji!). Kucanjem pomoću običnog ručnog Morseovog tipkala lako postizemo znakove koji se dobro i glasno čuju i u većim prostorijama.

Ako kratkospojnik između tačaka U i Zu uklonimo i pojačalo priključimo, preko potencijometra (sl. 16-15b), s bilo kakvim izvorom NF signala (detektorski prijemnik, dinamički zvučnik, gramofonska zvučnica i slično) moći ćemo ovo pojačalo upotrebiti i za druge svrhe.

Ovdje moramo napomenuti da ne treba očekivati izraženu reprodukciju »basova«. Za tu svrhu su kondenzatori C_1 , C_2 i C_3 premaleni. To je namjerno tako, jer kod komunikacijskih prijemnika nisu potrebni ni basovi ni one osobito visoke frekvencije. Dovoljan bi bio opseg od 300 do 3.000 Hz. Ovo pojačalo obuhvaća ipak više od toga, pa se može upotrebiti u najrazličitije svrhe, iako sa ponešto potisnutim najnižim frekvencijama. Raz-

mjerno malen kapacitet kondenzatora C_2 reducira basove, ali on tako čuva izlazni par tranzistora od strujnog preterećenja. Zato ovdje nije potrebno na njih stavljati hladila. Kvaliteta i glasnoća su takvi da u prvome redu odgovaraju za namijenjenu upotrebu.

Izbor demodulatora

Već smo se ranije odlučili za heterodinski prijemnik ili, kako ga još nazivaju, za prijemnik sa »direktnom konverzijom«. U takvima mora demodulator biti jedan od produkt-detektora. Koji da odaberemo?

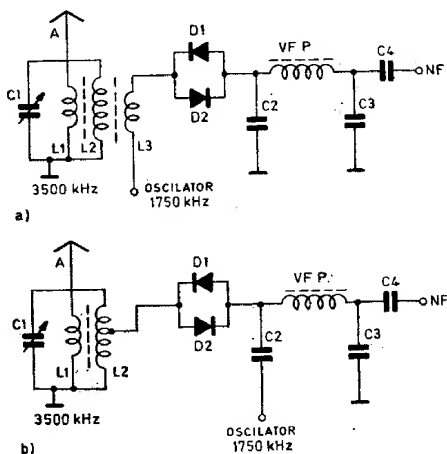
U svakom slučaju, treba odabrati takav produkt-detektor koji dobro podnosi jake, lokalne signale, ali također jedan koji će biti osjetljiv i za slabije signale. Povrh toga je potrebno da ulazni signali, oni koje primamo, ne djeluju na oscilator (VFO), ma kako jaki bili.

Shema po kojima bi se mogao načiniti produkt-detektor ima mnogo. U »Radio-priručniku« mogu se naći na str. 176, 177, 185, 188, 189, 190, 191, 201, da navedemo ono glavno. Tu su, dakako, i stupnjevi za miješanje, ali znamo da produkt-detektor i nije ništa drugo. Od svega bi, bez sumnje, bio najbolji

dvostruko simetričan sklop sa četiri Šotkijeve diode (Schottky). Gubitke u njemu trebalo bi, svakako, nadomjestiti nekim pojačalom. Ali, to otpada! Do takvih dioda ne možemo »doći«. Osim toga, također bi trebalo imati i odgovarajuće toroidne jezgrice. One se jednim dijelom i kod nas proizvode, ali ih amateri jedva mogu nabaviti, barem za sada.

Ima li možda neki drugi pogodan sklop odgovarajućih osobina? Ovdje, na str. 177 je shema i kratak opis produkt-detektora kod kojega *lokalni oscilator mora raditi na polovici frekvencije primanog signala*. Prvi ga je u sovjetskom amaterskom časopisu »Radio« opisao V. Poljakov (RA3AAE). Kod nas ga je popularizirao YU2HL u časopisu »Radio-amater«, a o njemu je također isti autor pisao i u nekim američkim časopisima. Sve ovo nas je navelo na to da ispitamo taj sklop za koji se u literaturi mogu naći samo pohvale.

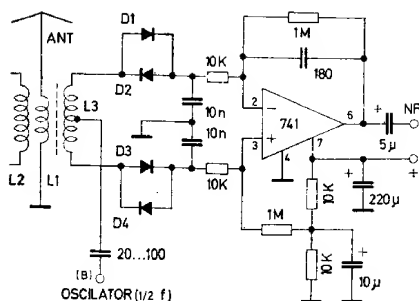
Na sl. 16-16 je princip ovog interesantnog demodulatora koji se od ostalih razlikuje svojom izuzetnom jednostavnošću. U dvije male silicijeve diode, međusobno »antipara-



Sl. 16-16. Dvije verzije demodulatora za CW i SSB signale prema V. Poljakovu

lelno« spojene, miješa se primani signal iz ulaznog titrajnog kruga L_2C_1 sa oscilatorovom »injekcijom« polovične frekvencije. Frekvencija oscilatora ipak ne smije biti baš precizna polovica frekvencije signala koji želimo primati. Mora postojati mala razlika. Ako želimo primati telegrafiju interferentnim tonom od 1000 Hz, ta razlika treba da bude 500 Hz više ili 500 Hz manje od tačne polovice. Na sl. 16-16a L_1 je zavojnica za vezu ulaznog titrajnog kruga sa antenom. Zavojnica L_3 prenosi ulazni signal na diode, ali kroz nju moraju proći i VF struje iz oscilatora. Niskopropusni filter $C_2/VFP/C_3$ propušta samo niskofrekventne struje (koje nastaju demodulacijom. One preko C_4 odlaze u NF pojačalo. Ponešto je drukčija izvedba istovrsnog demodulatora na sl. 16-16b. Tu se ulazni signal uzima sa dijela zavojnice L_3 , putem odvojka, dok se oscilatorova injekcija, približno polovične frekvencije, dovodi preko kondenzatora C_2 . Visokofrekventna prigušnica VFP i kondenzator C_3 i ovdje zadržavaju sve visokofrekventne komponente i propuštaju samo niskofrekventne struje, kao i u predašnjem primjeru. Iako titraji iz oscilatora imaju polovičnu frekvenciju, oni otvaraju diode *dvaput češće*: u jednoj poluperiodi jednu, u drugoj poluperiodi drugu diodu. Ovo daje isti učinak kao da je frekvencija dvostruka, čime se postiže i pravilna demodulacija. *Demodulirati se mogu i telegrafski signali i SSB-telefonija*. Budući da je frekvencija oscilatora različita od primane, *ne može doći do »povlačenja« oscilatora*. On radi neovisno o signalima koje želimo primiti! Osim toga, *lakše je načiniti stabilan oscilator niže frekvencije*.

Na sl. 16-17 vidimo demodulator sličnih svojstava. On se od Poljakovljevog demodulatora razlikuje po tome da ima četiri diode. Operacijsko pojačalo (»741«) daje NF pojačanje. Oscilator mora također



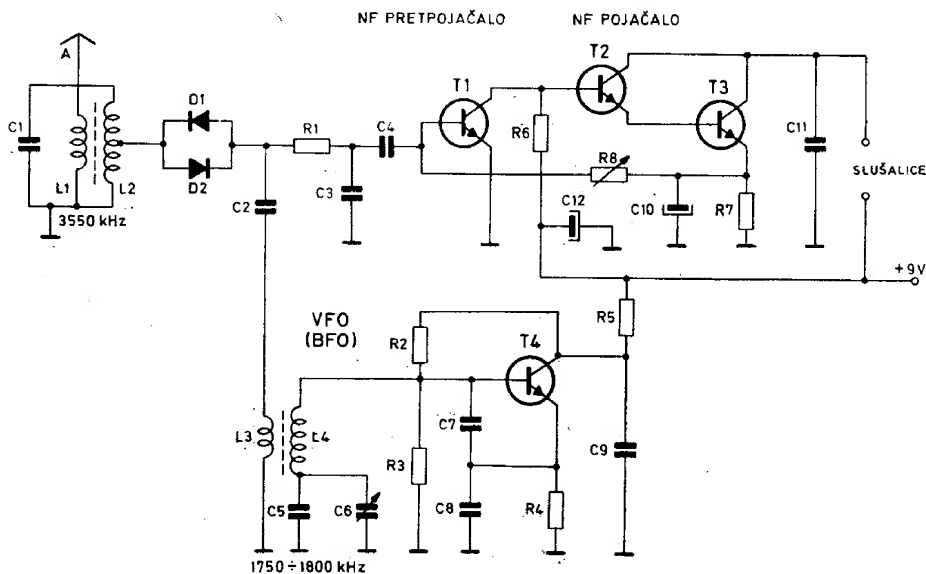
Sl. 16-17. Još jedna varijanta za ulazni stupanj prijemnika. Četiri VF diode (germanijeve ili silicijeve) upotrebljene su na samom ulazu. U njima se miješa ulazni signal sa oscilatorskom frekvencijom koja mora biti upola niža!

raditi na frekvenciji koja je upola niža od prijemne.

U američkom časopisu »CQ« od juna 1983. godine, YU2HL je dao i shemu prijemnika koji je on sagradio prema tome principu. Ona je

vrlo zanimljiva i svojom se jednostavnošću upravo nameće za eksperimentiranje, sl. 16-18. Produkt-detektor Poljakova nacrtan je ovdje u varijanti sa sl. 16-16b. Oscilator je tranzistorski »klap« (Clapp), dok se u niskofrekventnom pojačalu nalaze samo tri tranzistora. Oni su međusobno u izravnoj galvanjskoj vezi. Prvi tranzistor neka bude malošumni BC109, dok preostala dva mogu biti i BC107 ili BC108. Najpovoljnije radne uvjete ovog neobičnog pojačala treba promjenljivim otpornikom »trimerom« oko 100 kΩ odabrati tako da se u priključenim slušalicama čuju što čišći zvukovi.

Kod naših se pokusa pokazalo da je odabiranje odvojka na zavojnici L_2 , kao i induktivne veze sa zavojnicom oscilatora, vrlo kritično, ako želimo dobiti dobar i nesmetan prijem. Istina je, smetnja je bilo znatno manje nego kod upotrebe drugih produkt-detektora, ali one presnažne radio-stanice sa 40-metarskog opsega (to su gigavati!) ipak



Sl. 16-18. Shema prijemnika koju je objavio YU2HL u američkom časopisu »CQ«

su »upadale« jače nego bi se to očekivalo prema podacima iz literature. Razlog tome će, vjerojatno, dobrim dijelom biti što smo za primjem upotreabili antenu koja ne resonira samo u 80-metarskom opsegu (»W3DZZ«). U tzv. »multiband« antenama dolazi do resonantnog pojačanja i različitih drugih signala, pa tako i onih 40-metarskih! Osim toga i u samom demodulatoru, kao i u drugima, nastaje čitava smjesa različitih produkata od kojih su oni koje trebamo u niskofrekventnom području. U to su područje upadali, na žalost, i neki neželjeni produkti. Ovi su bili znatno slabiji, često jedva zamjetljivi, ako antena nije resonirala izvan željenog područja.

Zbog razmjerno kritičkih veza sa ulaznim i sa oscilatorovim titrajnim krugom, smatrali smo da bi trebalo ovu shemu prilagoditi potrebama ugradnje u primopredajnik. U prvom smo redu smatrali da bi bilo korisno upotrebiti drukčiju, manje kritičnu vezu sa oscilatorom; oscilatoru dodati sklop za neovisno ugađanje prijemnika u blizini predajne frekvencije i povećati ulaznu selektivnost u svrhu zaštite od prodora neželjenih frekvencija. Taj zadatak je opet zahtijevao pažljiv i strpljiv rad. Kao njegov rezultat nastao je VFO i prijemni dio (RX) primopredajnika koje ćemo sada opisati.

Oscilator promjenljive frekvencije

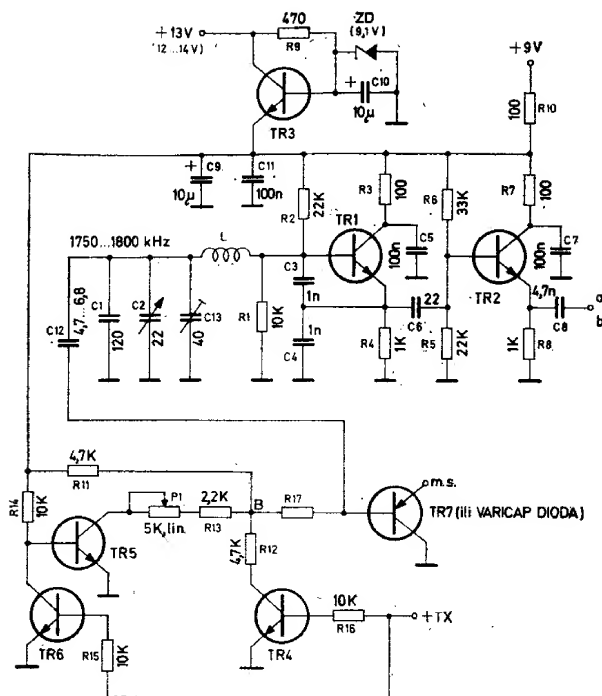
Shema oscilatora promjenljive frekvencije (VFO), namijenjenog za primopredajnik »QRP-80« je na sl. 16-19. U oscilatoru tipa Clapp (klap) nalazi se tranzistor TR_1 . To može biti bilo koji suvremeni silicijev tranzistor od BC107 do BC109, budući da taj oscilator mora raditi na razmjerno niskoj frekvenciji, u opsegu od 1750 do 1800 kHz. Povratna veza ostvarena je kapacitivnim djeliteljem C_3/C_4 . Oba ova kondenzatora imaju po 1000 pF. I kolektor je »blokiran« kondenzatorom

velikog kapaciteta (100 nF). Na taj su način svi unutarnji kapaciteti samog tranzistora upravo neznatni u odnosu na ove velike kapacitete. Zato eventualne male promjene u tranzistoru (npr. uslijed promjene temperature ili zbog male promjene napona među elektrodama i sl.) ne mogu utjecati na frekvenciju oscilatora.

Opseg frekvencija je određen za vojnicom L i kapacitetima kondenzatora C_1 , C_2 , C_{12} i C_{13} . Od ovih je C_2 promjenljiv. Mi smo upotrebili dvostruki promjenljivi kondenzator koji je inače bio predviđen za ugađanje unutar UKV opsega nekih »koncertnih« radio-prijemnika. Kapacitet mu je 2×11 pF. Statore možemo spojiti paralelno i tako rezultirajući maksimalni kapacitet, ako je potrebno, povećati na 22 pF. Tu je ugrađen i zupčani prenos u odnosu 1:3, što je također korisno. Na tome mjestu može poslužiti i svaki drugi promjenljivi kondenzator sličnog maksimalnog kapaciteta, ako je samo malih dimenzija i ako je stabilno građen. Kraj opsega kod 1750 kHz ugađa se jezgricom zavojnice L , a onaj kod 1800 kHz izborom kondenzatora C_1 i trimrom C_{13} .

Izbor svih kondenzatora za oscilator je prilično kritičan. Nije dosta da imamo na raspolaganju određene vrijednosti kapaciteta. Kondenzatori moraju biti vrlo dobre kvalitete. Nakon mnogih ispitivanja odlučili smo se za domaće »stirofleks« kondenzatore (»Iskra«). Vrlo su stabilni, gubici u njima su vrlo maleni, a imaju i malen negativan temperaturni koeficijent kapaciteta. Sve ovo posebno doprinosi stabilnosti odabrane frekvencije.

Tranzistor TR_2 je u stupnju za odjeljivanje oscilatora od ostalih stupnjeva u prijemniku ili u predajniku. TR_2 , zajedno sa Zenerovom diodom ZD (9,1 V) osigurava stabilan napon napajanja od približno 8,5 V.



Sl. 16-19. VFO sa vlastitim stabilizatorom napona (ZD i TR₃) i elektroničkim sklopom za R.I.T. kontrolu frekvencije (TR₄, TR₅, TR₆). Tranzistor TR₇ iskorišten je umjesto varikap-diode. Izgled štampane pločice za gradnju ovog VFO-a, kao i raspored sastavnih dijelova na njoj, vidi se na posebnom prilogu knjizi, pod oznakom II_a i II_b. Vidi opis u tekstu

Savremeni primopredajnici imaju mogućnost male promjene prijemne frekvencije (R.I.T.) bez utjecaja na rad predajnika. Izbjegli smo upotrebu releja za ovu svrhu! Tri tranzistora su jeftinija od releja. Dodatni sklop za R.I.T. ima tranzistore TR₄, TR₅, TR₆, te »varikap« diodu. Kao diodu kojoj kapacitet ovisi o prednaponu upotrebili smo tranzistor TR₇, tačnije samo njegovu »unutrašnju diodu« između baze i kolektora. Stavili smo PNP-tranzistor BC161 (»RIZ«). Mogao bi poslužiti i BC141 koji je tipa NPN, ali tada bi trebalo zamijeniti spojeve sa bazom i sa kolektorom. Tko je ima, razumije se, može staviti i pravu varikap diodu pazeći na po-

laritet. Kod pravilnog polariteta ne smije kroz diodu teći struja!

Kada je (preko TR₃) spojena struja napajanja, tranzistor TR₅ se »otvori« jer mu preko R₁₁ teče struja na bazu. Ostali tranzistori ostaju »zatvoreni«, struja kroz njih ne može teći.

Tranzistorom TR₅ spaja se jedan kraj potenciometra P₁ »na minus«. U tome stanju, dok je tranzistor »sasvim otvoren«, pad napona između kolektora i emitera je zanemarljivo mali (između 0,2 i 0,4 V, koliko odgovara tzv. naponu zasićenja ili saturaciji tranzistora). Otpornik R₁₁ sa jedne strane i otpornik R₁₃ sa dijelom potenciometra P₁ sa druge strane čine razdjelnik napona o kojemu ovisi električ-

ni potencijal u tački *B*. Taj se potencijal preko R_7 prenosi na »varikap« TR_7 i određuje njegov prednapon. Kapacitet »varikapa« se mijenja, ako se mijenja prednapon, što se postiže okretanjem potencio- metra. U seriji sa »varikapom« spojen je kondenzator C_{12} . Preko njega je »varikap« dioda spojena na titrajni krug pa se okretanjem potencio- metra može mijenjati i frekvencija oscilatora u nekom užem opsegu (kod prijema!).

Ako se (kod predaje!) na priključnicu »+TX« stavi pun pogonski napon, struju će provesti tranzistori TR_4 i TR_6 . Pri tom tranzistor TR_6 spaja bazu tranzistora TR_5 »na minus« i struja kroz P_1 i R_{13} više ne može teći. Potenciometar P_1 je izvan funkcije. Umjesto kroz njega, struja sada teče kroz R_{12} . Potencijal u tački *B* sada ovisi o razdjelniku R_{11}/R_{12} . On je stalan, što znači da je i prednapon na »varikapu« stalan. Na taj je način osigurano da je i kapacitet »varikapa« stalan za vrijeme predaje. Frekvencija oscilatora za vrijeme rada predajnika ne ovisi o položaju potencio- metra P_1 .

Kapacitet serijskog kondenzatora C_{12} mora biti malen, svakako manji od kapaciteta »varikapa« (TR_7). To je potrebno zato da visokofrekventni napon na »varikapu« ostane ispod vrijednosti prednapona, kako ne bi došlo do ispravljanja visokofrekventnih struja!

Pločica od kaširanog pertinaksa je »štampana« prema sl. *Ila* na posebnom prilogu, na kraju knjige. To je pogled sa donje strane pločice. Na suprotnu, »gornju« stranu, montiraju se svi dijelovi, osim potencio- metra P_1 i promjenljivog kondenzatora C_2 koji dolaze na prednju ploču primopredajnika. Udaljenost od VFO-a do C_2 ne smije biti velika, a veze među njima moraju biti kratke i krute. Raspored dijelova se vidi na crtežu *I Ib*, također tamo!

Gradnja prijemnog dijela

Poslije eksperimentiranja s više varijanti demodulatora (sl. 16-16 i sl. 16-17) odlučili smo se za onaj na sl. 16-16b. Usporedba sa sl. 16-17 dovela je do zaključka da su dvije diode jeftinije nego četiri (HI) i da je integrirani sklop *IL741* bolje upotrebiti kao dodatni niskofrekventni filter. Razumije se da bismo mogli upotrebiti dva takva sklopa, ali to bi opet povećalo cijenu materijala.

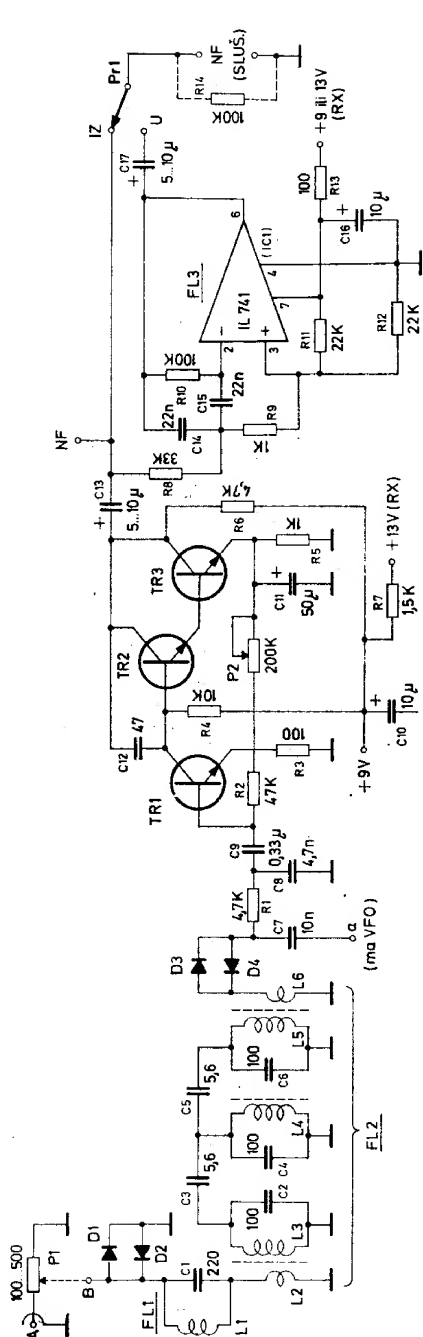
Shema prijemnika (sl. 16-18) dobila je neke dodatke i »pretrpjela« promjene kojima je osiguran dobar prijem uz pojednostavljeno posluživanje i bez smetnja od ostalih, neželjenih frekvencija.

Na shemi prijemnog dijela, sl. 16-20, vidi se na ulazu, odmah uz koaksijalnu antensku priključnicu, potenciometar P_1 . On omogućuje regulaciju ulaznog VF napona koji dolazi od antene. Ako je kao antena upotrebljen resonantni dipol, VF naponi su — osobito uvečer — toliko jaki da je takav potenciometar vrlo koristan, da ne govorimo o jakim lokalnim signalima od drugih amaterskih predajnika.

Priključnica *B* je na »štampanoj« pločici i predstavlja ulaz u sam prijemnik. Dioda D_1 i D_2 imaju zadatak da zaštite prijemnik od prevelikih ulaznih napona, ako ovaj radi u vezi s nekim predajnikom. Ako bi netko želio da upotrebi sam prijemnik, može ove diode izostaviti!

Iza dioda slijedi filter FL_1 . On se sastoji od kondenzatora C_1 i zavojnice L_1 . Oni formiraju titrajni krug koji mora resonirati negdje oko 7130 kHz, tj. u 40-metarskom opsegu, da svojim resonantnim djelovanjem spriječi ulazak signala onih ekstremno jakih radiofonijskih stanica.

Zavojnica L_2 je ulazna, a L_6 izlazna zavojnica slijedećeg filtera, FI_2 . To je pojasni filter (»bandfilter«), sastavljen od tri titrajna kru-



ga koji su u međusobnoj *kapacitivnoj vezi*, preko C_3 i C_5 . Zavojnice L_3 , L_4 i L_5 moraju biti odijeljene limenim pregradama da ne djeluju jedna na drugu! Ako taj filter ugodimo na sredinu telegrafskog dijela 80-metarskog opsega (3550 kHz), on će dovoljno dobro propuštati čitav opseg od 3500 do 3600 kHz. Nikakvo daljnje ugađanje ulaza ne treba!

Na izlaz ovog filtera spojene su diode D_3 i D_4 . One su vezane »anti-paralelno«. To znači da anodu jedne treba spojiti sa katodom druge, katodu prve sa anodom druge, baš kao i par dioda D_1 i D_2 . Preko C_7 diode primaju »injekciju« oscilatorove frekvencije da bi mogle služiti kao produkt-detektor. Dalje slijedi, umjesto VF prigušnice (VFP, na sl. 16-16), otpornik R_1 . Ovaj otpornik i kondenzator C_8 uklanjaju VF komponente i, iz smjese produkata miješanja, dalje propuštaju demodulirane signale koji onda, preko C_9 , odlaze u NF pojačalo.

Ukupno niskofrekventno pojačanje kod takvih prijemnika mora biti veliko jer drugog pojačanja signala nema. Shema NF pojačala sa tranzistorima TR_1 , TR_2 i TR_3 odgovara onoj na sl. 16-18, iako ima nekih manjih promjena. Ove se u prvom redu odnose na uvođenje dviju vrsta negativnih povratnih veza. Prva od njih je postignuta emiter-skim otpornikom R_3 koji, istina, malo smanjuje pojačanje, ali zato osigurava bolju stabilizaciju radnih tačaka svih tranzistora. Druga negativna povratna veza je ostvarena



Sl. 16-20. Shema prijemnog dijela »RX« za primopredajnik. FL_1 =visokofrekventni zaporni filter za frekvencije oko 7 MHz; FL_2 =visokofrekventni ulazni filter za opseg 3,5 do 3,6 MHz; FL_3 =niskofrekventni filter za prijem telegrafije. Izgled štampane pločice za gradnju, kao i raspored sastavnih dijelova na njoj, vidi se na posebnom prilogu knjizi, pod oznakom III_a i III_b. Opis u tekstu

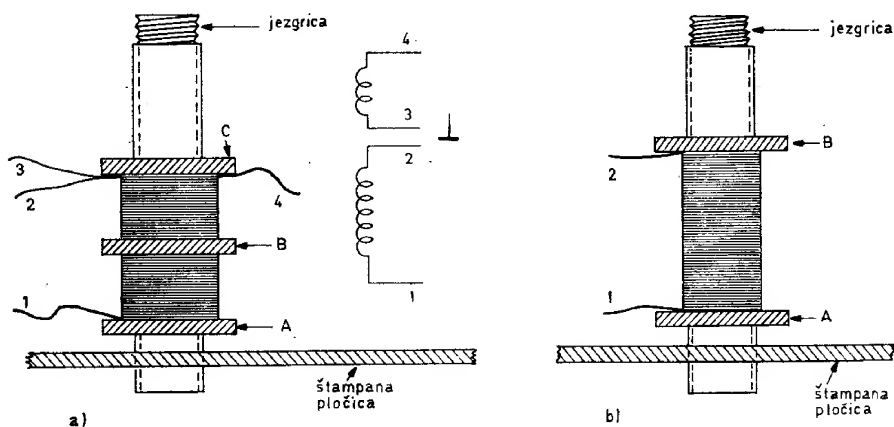
kondenzatorom C_{12} , između kolektora TR_1 i kolektora »darlingtonskog para« TR_2/TR_3 . Prisutnost ovog kondenzatora uzrok je redukciji najviših frekvencija u NF spektru. One ne samo da ne sadrže ništa od »informacije« koju donosi primani signal, već pripadaju nepoželjnim šumovima koje je bolje što prije ukloniti. Iako bi sva tri tranzistora mogla biti BC107, najbolje je da prvi od njih (TR_1) bude neki specijalni, malošumni, kao što je BC109. Onaj stalno prisutan šum »u pozadini« postaje zamjetljivo manji.

Slušalice, koje su na sl. 16-18 bile uključene izravno u kolektorski strujni krug tranzistora TR_2 i TR_3 , ovdje (sl. 16-20) zamijenjene su otpornikom R_6 . Osim toga u seriju s potencijetrom P_2 je stavljen otpornik R_5 da se postigne »finije« namještanje optimalne radne točke. Potencijetar P_2 je pravilno namješten kad napon između emitera i kolektora TR_3 bude jednak naponu na otporniku R_6 . Uz 9-voltni izvor struje ovi će naponi biti blizu 4 V svaki, dok će približno 1 V iznositi pad napona na R_5 . Želimo li upotrebiti veći pogonski napon, treba

ga dovesti na priključnicu »+13 V (RX)« tako da struja napajanja prolazi kroz otpornik R_7 . Sva tri tranzistora zajedno troše samo oko 2 mA struje!

Iza kondenzatora C_{13} , na priključnicu NF, već bi se mogle spojiti osjetljive visokoomske slušalice i upotrebiti samo ovaj dio prijemnika. Ova je mogućnost predviđena, ako preklopnik Pr_1 (montira se na prednju stranu uređaja, izvan ove pločice!) stavimo u položaj »IZ«. Prebacimo li ga u položaj »U«, uključujemo treći filter, FL_3 , da bismo između više njih mogli izdvojiti onaj telegrafski signal koji želimo primati.

Filter FL_3 je selektivno NF pojačalo. Za tu svrhu služi operacijsko pojačalo IL741. Srednja frekvencija propusnog opsega je 800 Hz. Vlastito pojačanje signala iznosi 2 puta, dok propusnoj krivulji odgovara Q-faktor 5. (O izračunavanju elemenata za takve filtere vidi na str. 242). Kad se Pr_1 prebaci iz položaja »IZ« u položaj »U«, signali kojima je frekvencija oko 800 Hz upravo »iskoče« između ostalih sig-



Sl. 16-21. Izgled upotrebljenih zavojnica za primopredajnik: a) izgled zavojnice koja se namata u dva dijela, sa shemom priključaka; b) izgled zavojnice koja se namata u jednom sloju. Tijelo za namatanje ima promjer 5 mm sa VF Fe-jezgricom promjera 3,5 mm

Tablica 16-1. — Podaci za namatanje zavojnica prijemnog dijela u primo-predajniku »QRP-80«

Zavojnica		Broj zavoja*	Promjer žice (mm)	Izolacija žice	Napomene
Izgled	Oznaka				
Sl. 14 b	L_1	20	0,4	L (lak)	u jednom sloju
Kao na sl. 14a)	L_2	7	0,15 mm	L (lak) ili LS (lak + svila)	preko gornje polovice L_3
	L_3	2×25			u dva dijela. Uzemljen kraj je gore!
	L_4	2×25			
	L_5	2×25			preko gornje polovice L_5
	L_6	12			
	L	2×45			(za VFO)
* Brojevi zavoja ovise o promjeru zavojnice i o kvaliteti feritne jezgrice Potrebno ih je provjeriti dip-metrom u konkretnom slučaju!					

nala koje istovremeno čujemo. I QRM i šum postaju manji!

Filteri sa većim pojačanjem i većom selektivnošću, sa većim Q-faktorom, nisu tako ugodni za uho. Telegrafski signali »zvone« i međusobno se stapaju pa čitljivost postaje lošija. Toga, međutim, kod ovog filtera nema! Da bi filter mogao raditi kako nama odgovara, možemo se pozabaviti otpornikom R_3 . On utječe na selektivnost. Mi smo na to mjesto stavili 33 kΩ.

Otpornik R_4 , spojen paralelno sa izlaznim priključnicama za slušalice, odnosno za priključak daljnjeg NF pojačala, nije neophodan, ali njegova prisutnost ublažuje »praskanje« koje se može čuti kad se preklopnik Pr_1 prebacuje iz jednog položaja u drugi.

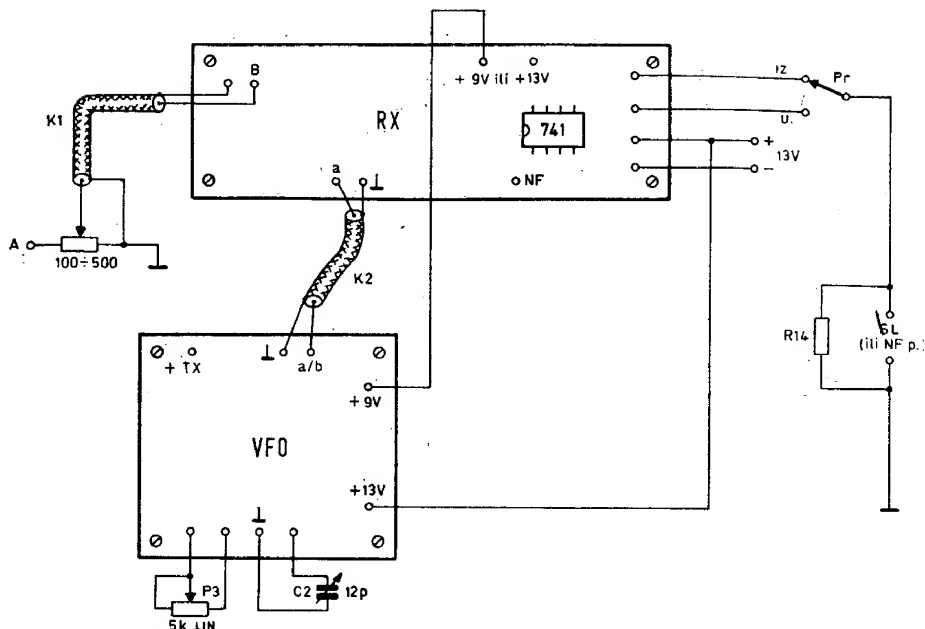
Izgled »štampane pločice« sa donje strane i raspored dijelova na njenoj gornjoj strani, IIIa i IIIb, prikazani su u prilogu na kraju ove knjige.

Podaci za namatanje svih zavojnica, za pločicu RX i za VFO , sadrži tablica 16-1. Izgled zavojnica, kako smo ih mi načinili, vidi se na sl. 16-21. Tijela za namatanje zavoj-

nica bila su glatka, pa smo pregrade označene na slici kao A , B i C , načinili iz tankog pertinaksa, ali mogu biti i iz debljeg kartona. Brojevi zavoja odnose se na upotrijebljene jezgrice i tijela. Ukoliko su na raspolaganju drukčije jezgrice, treba broj zavoja odrediti pomoću »dip-metra« (vidi u poglavlju o mjerenjima).

Kad smo sve načinili, kako je opisano, možemo sastaviti čitav prijemnik, sl. 16-22. Kao izvor napajanja mogu poslužiti i tri plosnate džepne baterije, spojene u seriju ($3 \times 4,5 \text{ V} = 13,5 \text{ V}$), ukoliko nemamo neki stabilizirani ispravljač za takav napon. Želimo li prijem na zvučnik, dodat ćemo još i NF pojačalo i spojiti ćemo ga prema sl. 16-15b.

Ne treba previše žuriti sa priključivanjem pogonskog napona! Treba *najprije kontrolirati* da li je baš sve načinjeno i spojeno kako treba. Polariteti elektrolitskih kondenzatora? Tranzistori? Ima li zaboravljenih (!) i nezalemljenih mjesta? Da li se, možda, negdje kosi-tar (kalaj) za vrijeme lemljenja razlio i načinio »kratke spojeve« između nekih bližih vodova? I sve



Sl. 16-22. Najjednostavniji prijemnik koji se može sastaviti iz opisanih sklopova na pločicama »VFO« i »RX«. Kod »SL« mogu se direktno priključiti osjetljive visokoomske slušalice ili treba ovamo spojiti niskofrekventno pojačalo na pločici »NFP/Z«, sl. 16-14. Na izlaz tog pojačala može se priključiti 5-omski zvučnik, ali također i bilo kakve niskoomske ili visokoomske slušalice. Vidi tekst

su pločice ispravno spojene jedna s drugom? Sve je kako valja? — Onda priključimo izvor napajanja! U pravilu se, osim malo šuma rijetko šta još može čuti u prvi moment. Ukoliko se čuje neko »urlanje« ili »zviždanje«, onda ipak nešto nije u redu! Nema druge, već isključiti struju i *ponovno sve pregledati*. Svi opisani sklopovi bili su sagrađeni u više primjeraka i kod uključivanja nije bilo problema!

Ako je sve u redu, onda treba uređaj ugoditi za pravilan rad. *Najprije* treba ugoditi *oscilator promjenljive frekvencije*, VFO.

Uklonimo vezu između VFO-a i RX-a tako da uklonimo kratak komad koaksijalnog kabela K_2 i na izlazne priključnice VFO-a spojimo

neki *brojač frekvencije* (»digitalni frekvencimetar«). Najčešće ga amater neće imati, ali će ga možda moći od nekog posuditi. Možda ga ima u radionici radio-kluba ili kod nekog radio-tehničara. Ako ne možemo naći takav mjerac frekvencije, dobro će nam doći i običan »*dip-metar*« i uz njega bilo kakav *kratkovalni prijemnik* koji ima baždarenu skalu i koji može primati 80-metarsko amatersko područje. Dip-metrom se moramo uvjeriti da nam VFO oscilira i da su te oscilacije što je moguće bliže opsegu koji nam je potreban (1750 do 1800 kHz). Kad smo to postigli, čut ćemo negdje unutar 80-metarskog opsega *drugu harmoničnu frekvenciju našeg VFO-a*. U blizini (na istom radnom stolu!) jasno ćemo i sna-

žno čuti interferentno zviždanje, čim smo blizu te frekvencije. Sada ćemo dovesti VFO u pravi opseg okretanjem jezgrice u zavojnici (kod »3500 kHz«) i pažljivim okretanjem trimerskog kondenzatora (kod »3600 kHz«). Treba nastojati da promjenom kapaciteta kondenzatora C_2 bude obuhvaćen čitav ovaj telegrafski podopseg i da bude što više »razvučen« na skali kondenzatora. Ovisno o tome kakav smo kondenzator upotrebili kao C_2 , 11 do 12 pF maks. je dosta. Bit će možda potrebno i malo drukčije odabrati i vrijednost kondenzatora C_1 .

Kad smo to postigli uz malo strpljivosti (!), možemo ponovno kabelom K_2 spojiti VFO i RX (tko nema tankog koaksijalnog kabela, uplest će dvije raznobojne, sa PVC izolirane žice i upresti ih!) i preći na ugađanje prijemnika. To nije teško.

Na prijemnik priključimo antenu — *najbolje 80-metarski dipol* — i antenski potencijometar P_1 okrenemo na maksimum. Frekvenciju VFO-a dovedemo usred »banda«, kod 1775 kHz, što znači za prijem frekvencije 3550 kHz. Općenito ćemo čuti blagi šum, a možda i neku jaču telegrafsku stanicu blizu ove frekvencije. Jedino što je sada potrebno jest da pažljivim okretanjem jezgrica u zavojnicama L_3 , L_4 i L_5 postignemo maksimalnu glasnoću šuma ili signala. Ovako postignuta resonancija filtera FL_2 bit će dovoljno široka za prijem svih frekvencija između 3500 i 3600 kHz.

Moguće je postići i prijem čitavog 80-metarskog opsega (3500 do 3800 kHz), ali onda su potrebne i male preinake. Kao prvo treba VFO-om obuhvatiti frekvencije od 1750 do 1900 kHz. Ukoliko je C_2 bio dvostruki promjenljivi kondenzator (2×11 ili 2×12 pF) treba svakako oba njegova statora spojiti paralelno da se poveća kapacitet. Također je potrebno smanjiti kapacitet C_1 na 56 pF i — pomoću dip-metra namotati zavojnicu L ta-

ko da VFO obuhvati željeni nov opseg.

Tada i na pločici RX treba povećati C_3 i C_5 na 6,8 do 8,2 pF da propusni opseg filtera FL_2 može biti širi. Pomoću L_3 treba postići resonanciju na 3550 kHz, pomoću L_4 na 3650 kHz i pomoću L_5 na 3750 kHz. Pri tom se *osjetljivost prijemnika smanjuje*, ali je zato podjednaka uzduž čitavog opsega. Nezgodna je strana ta, da je za okretanje promjenljivog kondenzatora C_2 , u ovakvom slučaju, potreban *veći prenos okretanja*, ukupno oko 30 : 1, što kod samogradnje nije lako postići. Taj prenos naime mora biti *mehanički vrlo dobar i pouzdan*, bez »mrtvog hoda« i sličnih nedostataka. Istina je, možemo si malo »pomoći« dugmetom za R.I.T. kontrolu, ali kod primopredajnika to ima drugu zadaću. Zato je bolje ograničiti se samo na telegrafski podopseg!

U svakom je slučaju potrebno još ugoditi i filter FL_1 . Ako nam »upadaju« radiofonijske stanice iz 40-metarskog opsega, redovito u obliku postojeane interferencije od njihovog vala nosioca, uz eventualnu demodulaciju ako interferentni ton dovedemo »na nulu«, potrebno je polagano i pažljivo okretati jezgricu zavojnice/ L_1 . Takve smetnje (*ako su doista iz 40-metarskog opsega!*) moraju utihnuti i — redovito — i od onih najjačih preostane jedva trag u šumu ili ih se više uopće ne može čuti! To se može postići i u slučaju ako nam antena (kao npr. »W3DZZ« ili »FD-4«) resonira i u opsegu otkuda takve smetnje dolaze. Upotrebimo li kao antenu jednostavan dipol za 80-metarski opseg, bit će tih smetnja znatno manje. Možda FL_1 neće ni biti potreban; možda će selektivnost filtera FL_2 biti sasvim dovoljna. Treba, svakako, isprobati! Ovakve smetnje će biti najbolje otklonjene, ako je čitav primopredajnik ugrađen u limenu kutiju!

Ovim se prijemnikom i po danu čuju mnoge bliže stanice, ali

pred večer i po noći *osiguran je prijem amaterskih stanica iz cijele Evrope*, pa i dalje.

Odašiljački dio primopredajnika

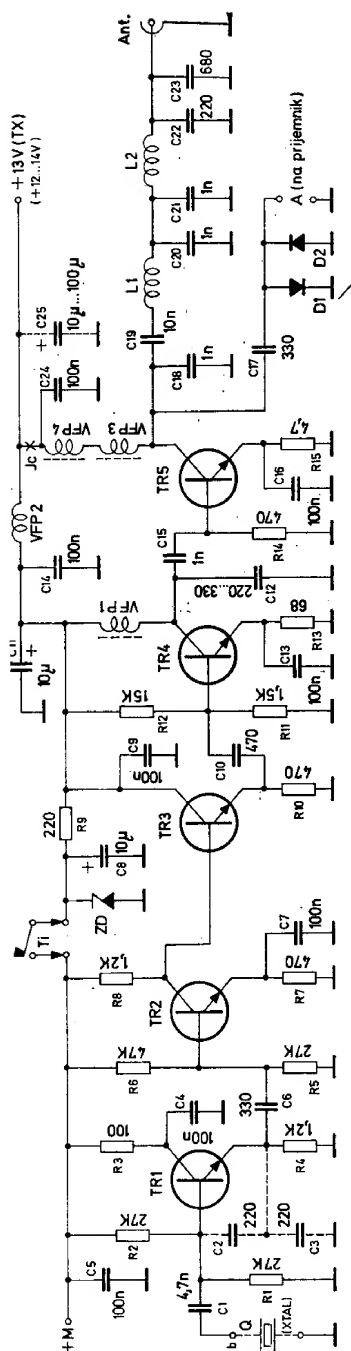
Već smo ranije (vidi str. 343) opisali mali, *dvovatni kratkovalni predajnik* koji se pri upotrebi pokazao vrlo dobrim. Nema razloga da ga i ovdje, u odašiljačkom dijelu primopredajnika, na neki način ne upotrebimo. Na shemi, sl. 16-23, ako je uporedimo sa sl. 11-70, nema bitnih promjena ispred prva četiri tranzistora. Dodatkom kondenzatora C_{12} postiže se bolje uklanjanje nepoželjnih viših harmoničkih frekvencija. Peti tranzistor, TR_5 , nema ovdje razdjelnika napona za napajanje baze. Tu je samo R_{14} pa taj stupanj radi u klasi C.

Na izlazu je, umjesto ranijeg tročlanog, upotrebljen *peteročlani niskopropusni filter*. Osim toga odavde se, bez ikakvog releja, postiže i odvajanje antenskog priključka za prijemni dio primopredajnika, uz potrebnu zaštitu pomoću para dioda D_1/D_2 . Ovo je također već bilo opisano i prikazano je ranije na sl. 11-65.

Podatke za namatanje zavojnica izlaznog filtera naći ćemo na tablici 16-2. Visokofrekventne prigušnice ostale su jednake kao i one koje smo ranije upotrebili, vidi izgled uz sl. 11-70c.

Vratimo se shemi na sl. 16-23. Ovdje vidimo da je na ulazu kvarcov kristal Q. Pobuđivanje oscilacija je osigurano kapacitivnim razdjelnikom C_2/C_3 . Zenerova dioda ZD (8 do 9 V) stabilizira napon za napajanje oscilatora s kvarcom, pa su telegrafski signali čisti i stabilni. To je ovako predviđeno za predajnike »F« kategorije, koji — prema postojećem pravilniku — moraju raditi s kristalom.

Poseban se problem javlja, ako želimo ovakav odašiljač ugraditi u primopredajnik sa oscilatorom promjenljive frekvencije (VFO) koji radi na frekvenciji koja je *upola*



Sl. 16-23. Shema predajnog dijela za primopredajnik. Izgled štampane pločice za gradnju, kao i raspored sastavnih dijelova na njoj vidi se na posebnom prilogu knjizi, pod oznakom V_a i V_b . Opis u tekstu

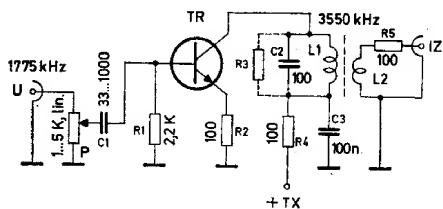
Tablica 16-2. Podaci za motanje zavojnice odašiljačkog dijela u primopredajniku »QRP-80«. Izgled zavojnica je na sl. 14b, a motane su lakiranom Cu žicom promjera 0,4 mm

Zavojnica	Broj zavoja	Napomena
L_1	18	u jednom sloju
L_2	20	u jednom sloju

niža od planirane radne frekvencije.

Kao prvo, uklonit ćemo kvarcovi kristal i oba kondenzatora, C_2 i C_3 . To nam više ne treba! Između VFO-a i ulaza na kojemu je bio kristal Q moramo staviti neki udvostručivač frekvencije.

Nastojali smo da udvostručivač frekvencije bude, koliko je više moguće, što jednostavniji. Na sl. 16-24 vidimo da je upotrebljen samo jedan tranzistor. Na ulaz U dovodimo oscilatorovu visoku frekvenciju (1775 ± 25 kHz) najprije na potenciometar P kojim se može »dizirati« veličina VF napona koji odlazi na bazu tranzistora. Na bazi nema nikakvog prednapona, jer nije



Sl. 16-24. Ukoliko predajnik ne radi sa kvarcovim kristalom, potrebno je frekvenciju VFO-a udvostručiti (za primopredajnik »QRP-80«). Prema ovoj shemi udvostručivača frekvencije (»UF«) može se gradnja izvesti na štampanoj pločici IV_a i sa rasporedom sastavnih dijelova IV_b. Vidi na posebnom prilogu u knjizi. Opis u tekstu

potreban za udvostručavanje frekvencije. U kolektorskom strujnom krugu je titrajni krug L_1C_2 koji mora biti ugođen na dvostruku frekvenciju. Zavojnica L_2 , koja je namotana odmah uz L_1 , odvodi VF struje dvostruke frekvencije dalje, na ulaz odašiljačkog dijela. Ondje ih uvodimo na iste one priključnice gdje je nacrtan XTAL Q .

Da se ne bi izlazni napon previše mijenjao kod promjene frekvencije, može se paralelno sa zavojnicom L_1 staviti otpornik R_3 (oko 5,6 kΩ). Prigušujući titrajni krug ovim otpornikom postizemo »tuplju« resonanciju pa VF napon postaje nešto manji. Na veličinu izlaznog VF napona dvostruke frekvencije utječe još izbor otpornika R_1 i, osobito, vrijednost otpornika R_2 . Ovdje treba odabrati tako (oko 100 Ω) da se dobije pravilna pobuda predajnika onda, kad je potenciometar P negdje oko 3/4 svoje vrijednosti. Zavojnice L_1/L_2 u udvostručivaču frekvencije ne razlikuju se od zavojnica L_3/L_2 u prijemnom dijelu. Načiniti ćemo ih na isti način! Tranzistor TR može biti BC107 ili bilo kakav slični.

I prva tri tranzistora u predajniku (sl. 16-23) mogu biti BC107. Ni izbor tranzistora za pretposljednji stupanj nije osobito kritičan. TR_4 neka bude jedan od naših poznatih NPN tranzistora u malo većem metalnom kućištu (TO-5), kao što su BC141, BC 119, 2N2219 ili njima slični. Njihova je granična frekvencija (40 MHz ili više!) barem deset puta viša od naše radne frekvencije. Opterećenje nije veliko pa tranzistoru ne treba stavljati hladilo. On bude jedva umjereno topao.

Kao izlazni tranzistor (TR_5) ne bi bilo dobro uzeti BC119. Taj, inače vrlo dobar tranzistor, podnosi između kolektora i emitera napon koji ne smije biti veći od 30 V. Ukoliko bismo na predajnik, možda, priključili antenski kabel u kojemu je, zbog neprilagođenja, velik odnos stojnih valova (SWR), mogao bi vršni napon na kolektoru TR_5

opasno porasti! Tranzistor bi bio u trenu upropašten! Zato je bolje upotrebiti tranzistor koji, uz maksimalnu kolektorsku struju (vršna vrijednost!) od 800 do 1000 mA, podnosi i veće kolektorske napone. Iako ćemo ostati kod pogonskog napona od 12 do 13,5 V, upotrebiti valja tranzistor koji podnosi na kolektoru (u izuzetnim momentima!) barem 50 do 60 V.

Takvim zahtjevima zadovoljavaju npr. BC141, BSY55, BSY56, BFY46, odnosno BFJ46. Kojigod tranzistor upotreбили, nećemo ipak prekidati vezu sa antenom ili kratko spajati izlaznu antensku priključnicu da ne ugrozimo izlazni tranzistor. To nismo ni pokušali (HI!). Izlazni tranzistor mora imati svoje, ne premaleno, *hladilo*. Dobro hladilo smo pronašli u redovnoj prodaji. Načinjeno je od aluminija, ima rebra za odvođenje i izračivanje topline, crno je eloksovano i ima oko 5 grama. U trajnom pogonu (do 5 minuta!) hladilo se toliko zagrijavalo da je na opip bilo ne samo toplo, već prilično vruće. Ipak nismo si opekli prste! U normalnom pogonu je zagrijavanje daleko manje jer *tranzistor kod telegrafije nije trajno opterećen*.

Iako su na tablici 16-2 podaci za namatanje zavojnice *izlaznog filtera*, potrebno je još nekoliko riječi o tome. Zadaća mu je da zadrži sve neželjene frekvencije, pretežno mnogobrojne više harmoničke frekvencije. *Do antene smije proći samo osnovna, radna frekvencija koja je u 80-metarskom opsegu*.

Opteretnu impedanciju za taj izlazni stupanj možemo izračunati ovako:

$$R = \frac{U^2}{2P_0}$$

Ovdje je U istosmjerni pogonski napon, P_0 je izlazna snaga predajnika. Ako pretpostavimo da će, najvjerojatnije, iskorištenje energije u izlaznom stupnju biti oko 50%, možemo (uz kolektorsku struju od 350 do blizu 400 mA) očekivati da

će, uz INPUT do 5 W, izlazna snaga biti negdje do 2,5 W. Pogonski napon, ako uzmemo u obzir pad napona u dovodnim žicama, starenje baterija i slično, bit će malo iznad 12 V; uzmimo za računanje 12,25 V:

$$R = \frac{12,25^2}{2 \times 2,5} = \frac{150}{5} = 30 \Omega.$$

Dobili smo, dakle, da *ulazna impedancija filtera* mora biti 30 Ω . *Izlazna impedancija* ovisna je o načinu napajanja antene. Ukoliko će to biti preko tzv. 50-omskog koaksijalnog kabela, ona treba biti također 50 Ω . Na str. 351 je proračun upravo takvog filtera i ondje se mogu naći potrebni podaci za gradnju. Tim podacima odgovaraju vrijednosti, napisane na shemi, sl. 16-23, gdje ulazni kapacitet filtera čine kondenzatori C_{17} i C_{18} , njegov srednji kapacitet C_{20} i C_{21} , a izlazni kapacitet C_{22} i C_{23} . Kondenzator C_{19} (10 nF ili više, sve do 100 nF) služi samo za odvajanje istosmjernih i visokofrekventnih strujnih krugova i nema osobitog utjecaja na sam filter. No, što je sa kondenzatorom C_{17} ? Za vrijeme rada predajnika teku VF struje preko njega i kroz obje »antiparalelno« spojene diode (D_1 i D_2) pa je onda C_{17} paralelno »spojen« sa C_{18} . Kod prijema, preko kondenzatora C_{17} odlaze VF struje od antene na *antensku priključnicu prijemnika*. Pri tom diode nemaju nikakvog utjecaja na prijem budući da su antenski VF naponi za vrijeme prijema daleko ispod 0,6 do 0,7 V. Kroz silicijeve diode mogla bi teći struja samo onda ako je napon na njima veći od ove vrijednosti. Diode moraju imati i malen vlastiti kapacitet (oko 1 pF) da se VF napon primanih signala ne bi gubio kapacitivnim putem.

Na posebnom prilogu, na kraju knjige, je nacrtana pločica za gradnju udvostručivača frekvencije (UF) sa donje strane, pod oznakom IVa. Raspored dijelova s njene gornje strane ima oznaku IVb. Također je štampana pločica za gradnju pre-

dajnika označena kao V_a , a raspored dijelova na njoj kao V_b .

Prije uključivanja treba sve pažljivo pregledati! Ako je sve u redu moći ćemo i taj dio primopredajnika ispitati i postići da i on optimalno radi.

Kako ćemo izmjeriti izlaznu snagu?

Prije nego pređemo na ispitivanje rada predajnika moramo odlučiti na koji način da mjerimo izlaznu snagu. Za amatera će biti najbolje da si sam načini tzv. »lažnu antenu« (umjetnu, veštačku) koja ima vlastiti *neinduktivni* (»termogeni«) otpor od $50\ \Omega$. Takva je opisana u poglavlju o mjernim instrumentima i mjerenju, sl. 21-68 i sl. 21-69. Ugrađena germanijeva dioda i kondenzator C omogućuju mjerenje vršne vrijednosti (U) visokofrekventnog napona. Taj napon moramo mjeriti voltmetrom velike osjetljivosti (oko $20\ \text{k}\Omega/\text{V}$) i ne u opsezima niskog napona. Opseg mjerenja neka bude, npr. do $50\ \text{V}$. Samo tako ćemo izmjeriti napon koji je dovoljno blizu pravoj vršnoj vrijednosti.

Općenito se, poznavajući napon i otpor, snaga može izračunati na jednostavan način:

$$W = \frac{U^2}{R}$$

Ako je U vršna vrijednost VF napona, račun daje vršnu vrijednost VF snage. Recimo da je izmjeren vršni napon od $10\ \text{V}$, pa ćemo imati:

$$W_v = \frac{10^2}{50} = \frac{100}{50} = 2\ \text{W},$$

što se dobro slaže sa podatkom koji možemo pročitati i na dijagramu, sl. 21-66. Ali to je snaga koju VF struja dosiže samo onda kada je njezin napon, u nekom momentu, dosegao najveću vrijednost. Ovako izračunavanje ne daje još uvijek »pravu« vrijednost snage, tj. onu koja, npr. uzrokuje zagrijavanje ot-

pornika u mjerачu snage. Ako smo izmjerili vršnu vrijednost VF napona, moći ćemo tu »pravu« vrijednost izlazne snage (W_o) izračunati samo uz pretpostavku da su VF struje sinusoidalne (ako su?!?). One će biti takve, ukoliko u emitiranom signalu nema viših harmoničkih frekvencija, tj. ako je signal onakav kakav treba da bude!

Ako je U vršna vrijednost napona, onda je — za sinusoidalne struje — tzv. *efektivna vrijednost napona*:

$$U_{ef} = \frac{U}{\sqrt{2}}$$

i pomoću njega:

$$W_o = \frac{U_{ef}^2}{R}.$$

Snagu, W_o , koja nas najviše zanima, možemo sada izračunati poznavajući *maksimalnu* vrijednost napona U :

$$W_o = \frac{\left(\frac{U}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} = \frac{U^2}{2R}.$$

Taj je račun kod 50-omskog opterećenja osobito jednostavan, jer je $2 \times 50 = 100$. Ako smo npr. vršnu vrijednost (=maksimalni napon) U izmjerili, npr. kao $10\ \text{V}$, bit će vrijednost snage W_o :

$$W_o = \frac{U^2}{100} = \frac{10^2}{100} = 1\ \text{W}.$$

Izlazna snaga predajnika bi u takvom slučaju bila $1\ \text{W}$, dok bi maksimalna vrijednost snage (=PEP=vršna vrijednost!) dosizala do $2\ \text{W}$, dakako uz uvjet da nema viših harmoničkih frekvencija na izlazu; da su oscilacije sinusoidalne.

Za mnogo skuplje, fabrički proizvedene, visokofrekventne vatmetre prospekti gotovo nikad ne obećavaju bolju tačnost mjerenja od $\pm 5\%$. Ako smo našu mjernu spravu zaista dobro načinili, ako je njezin otpor neinduktivan i stvarno $50\ \Omega$, ni naši mjerni rezultati ispitivanja predajnika koji ispravno

radi, neće biti lošiji! Ukoliko otpor nije tačno 50 Ω , izmjerit ćemo ga i računati sa izmjerenom vrijednošću!

Prvo uključivanje predajnika i ispitivanje

Kad je sve sagrađeno u skladu sa shemama, kad su svi sastavni dijelovi na svojim mjestima na pločici, opet ćemo pažljivo pregledati da li je možda negdje načinjena pogreška. Zatim ćemo izlaz VFO-a spojiti (najbolje kratkim komadom tanjeg koaksijalnog kabela) na ulaz udvostručivača frekvencije. Izlaz udvostručivača spojiti ćemo sa ulazom na pločici TX, a na izlaz predajnika ćemo — umjesto prave antene — priključiti tzv. »lažnu antenu« (umjetnu, veštačku) koja ima neinduktivan otpor od 50 Ω , uz mogućnost mjerenja vršne vrijednosti VF napona na njemu. — Ukoliko želimo raditi sa kvarcovim kristalom, priključit ćemo njega na ulazu pločice TX, na ranije opisani način (udvostručivača frekvencije i priključka na VFO onda, dakako, ne treba!)

U svakom slučaju je potrebno, za mjerenje jakosti kolektorske struje izlaznog tranzistora, taj strujni krug prekinuti kod X i tako spojiti instrument za mjerenje vrijednosti I_c . Treba predvidjeti takav mjerni opseg do 500 mA.

Kad pritisnemo na telegrafsko tipkalo (T_i), ugodimo zavojnicu udvostručivača frekvencije (ukoliko ne radimo sa kristalom!), zatim, ugodimo L_1 i L_2 u izlaznom filteru na maksimalan izboj voltmetra koji je u vezi sa »lažnom antenom«. Takvo mjerenje je kod nas dalo, kao prvi rezultat, izlaznu snagu blizu 4 W, uz INPUT oko 5 W. Iskorištenje blizu 80%?? — Predobro da bi moglo biti doista dobro!

Pri tome još nije bio ugrađen kondenzator C_{12} . Da odredimo njegovu najpovoljniju vrijednost, na njegovo smo mjesto spojili promjenljivi kondenzator sa maksimalnim kapacitetom od 500 pF. Povećavajući taj kapacitet postepenim zatvaranjem promjenljivog kondenzatora, mogu se opaziti neke značajne promjene. Ponajprije ćemo opaziti da jezgri u zavojnicama L_1 i L_2 moraju ići sve dublje da se postigne »maksimum«. Osim toga, taj maksimalni izboj postaje pomalo sve niži! Kad smo kod »ispitivanog primjerka« postigli optimalne odnose, bilo je to kod kapaciteta C od 270 do 330 pF. Uz INPUT od blizu 4 W postigli smo izlaznu snagu oko 2 W, što govori da je iskorištenje oko 50%, koje je prihvatljivije. Ali, treba još provjeriti šta se zapravo dogodilo... Da to proučimo, poslužili smo se normalnim kratkovalnim prijemnikom!

Pri tom je naš mali predajnik ostao spojen sa »lažnom« antenom

Tablica 16-3. Upoređivanje mjernih podataka o radu predajnika uz upotrebu različitih izlaznih tranzistora

Tranzistor	BFJ46 (A)	BFJ46 (B)	BFJ46 (B)	BLY 85
Pogonski napon [V]	12,8	12,8	14,2	12,8
Input [W]	4,48	3,59	5,1	4,86
Output [W]	2,25	1,94	2,76	2,56
Iskorištenje [%]	50,2	53,8	53,9	52,6
Slovom A, odnosno slovom B, označeno je da se tu radi o istom tipu tranzistora (BFJ46), ali o dva ponešto različita komada! Kako se vidi, »pravi« tranzistor za predajnike (BLY85) nije u radu bio bitno drukčiji!				

a prijemnikom smo potražili naš signal u 80-metarskom opsegu. I bez priključene antene pojavio se na prijemniku vrlo jak signal. Ako je to bilo na radnoj frekvenciji blizu početka »banda« (na primjer, 3.503 kHz) pokušajmo pronaći njezinu drugu harmoničnu frekvenciju na početku 40-metarskog opsega, tj. na $2 \times 3.503 = 7.006$ kHz, u našem primjeru. Dok nema kondenzatora C, dvostruka se frekvencija na prijemniku čuje tek neznatno slabije od one osnovne! Dodatkom kondenzatora C (oko 300 pF) postiže se da jakost signala na 40-metarskom opsegu postane manja! To se vidi i na S-metru prijemnika. Pri tom je prijemnik u istoj prostoriji, ali bez ikakve antene. U slučaju potrebe može se u antensku priključnicu utaknuti kratka bakrena žica (ne duža od 10 cm!!).

Izlazne snage koje su postignute sa različitim tranzistorima, uz uvjet da druga harmonična frekvencija bude što slabija, pokazuje tablica 16-3. Pobudni tranzistor (TR4) bio je u svim slučajevima isti: 2N2219 (»RIZ«).

Kontrolno ispitivanje u laboratoriju

Da vidimo što smo postigli amaterskim sredstvima odnijeli smo odašiljački dio primopredajnika »QRP-80«, načinjen prema sl. 16-23 (sa kvarcovim kristalom, sa kondenzatorom C od 300 pF) u industrijski, profesionalni laboratorij, gdje je bio ispitan na specijalnom analizatoru »Hewlett-Packard«.

Ispitivani primjerak nije bio je-dan od najsnažnijih. Na izlazu (TR5) bio je tranzistor BFJ46. U pobudnom stupnju je bio 2N2219, kao TR4. Uz pogonski napon od 13,5 V bila je kolektorska struja izlaznog tranzistora 261 mA. Tome odgovara INPUT od $13,5 \times 0,261 = 3,52$ W. Pri tom je izmjerena izlazna snaga (OUTPUT) od 1,83 W. Iskorištenje električne energije je dakle: $1,83 : 3,52 = 0,52$ ili 52%.

Potiskivanje druge harmonične frekvencije bilo je —34 dB, a treće —54 dB. Predajnik je bio ugođen amaterskim sredstvima, kako smo opisali.

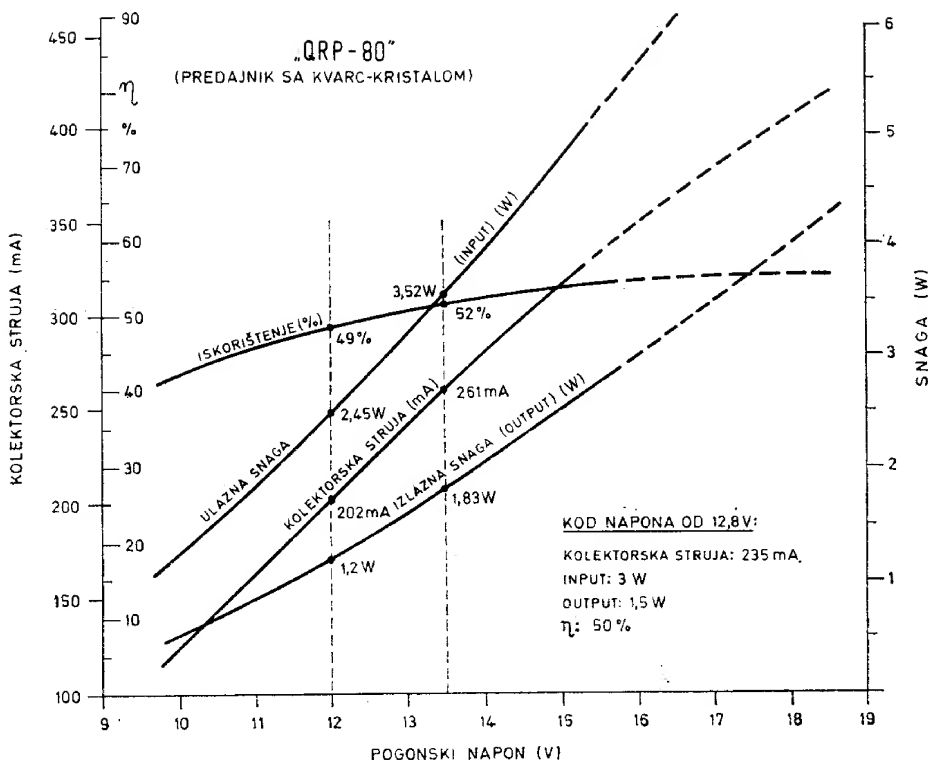
Koristeći se analizatorom »Hewlett-Packard« mogli smo, razumije se, izlazni niskopropusni filter još bolje ugoditi. Izlazna snaga je tek neznatno pala (na 1,78 W). Potiskivanje druge harmonične frekvencije bilo je —40 dB, a potiskivanje treće —57 dB. Ostale, više harmonične frekvencije nisu se mogle opaziti, »utopile« su se u šumu samog mjernog instrumenta!

Što znači, u našem slučaju, potiskivanje za —34 dB, odnosno za —40 dB? To znači da je izlazna snaga druge harmonične frekvencije za —34 dB ispod nivoa snage na osnovnoj, radnoj frekvenciji predajnika, ako smo ga ugađali amaterskim sredstvima. Ako je 30 dB = $10^3 = 1.000$ puta i 4 dB = 2,51 puta, bit će 34 dB = $2,51 \times 1.000 = 2.510$ puta. Predznak »—« znači slabljenje, pa nam oznaka —34 dB kaže da naš predajnik uz OUTPUT od 1,83 W emitira na drugoj harmoničnoj frekvenciji: $1,83 : 2.510 = 0,73$ mW snage.

Kad je predajnik bio ugođen uz pomoć specijalnog uređaja, potiskivanje druge harmonične frekvencije bilo je —40 dB ili 10.000 puta manje. Druga harmonična frekvencija je, prema tome, u emitiranom signalu bila prisutna kao »ostatak« manji od 0,3 mW. Potiskivanje treće harmoničke frekvencije sa —54 dB, odnosno sa —57 dB je u ovom slučaju još znatno veće, a emisija te neželjene frekvencije sasvim zanemarljiva!

Ovisnost izlazne snage o pogonskom naponu

Ovisnost izlazne snage o pogonskom naponu i međusobne odnose kolektorske struje, ulazne snage i iskorištenja energije vidimo na sl. 16-25. Da ne bi zagrijavanje tranzistora bilo preveliko, nije preporučljivo da se pogonski napon pretje-



Sl. 16-25. Rezultati mjerenja na jednome od prototipova opisanog predajnika. Dijagram pokazuje kako se mijenja kolektorska struja izlaznog tranzistora (BFJ46) u ovisnosti o visini pogonskog napona. Također je prikazana ulazna snaga (INPUT), izlazna snaga (OUTPUT) i iskorištenje (%) uz različite pogonske uvjete, te uz čisto omsko (termogeno) opterećenje od 50 Ω . Isti pogonski napon je pri tom bio korišten i za VFO, kao i za udvostručivač frekvencije

rano poveća, ali do 14 V se može »ići«, ako pri tome kontroliramo temperaturu izlaznog tranzistora. Kod viših pogonskih napona, zagrijavanje pobudnog i izlaznog tranzistora (T4 i T5) postaje sve jače, a lako može stradati i Zenerova dioda ZD (sl. 16-23).

Budući da nam kvarcov kristal može osigurati potrebnu stabilnost frekvencije (probati!), a i onda kad frekvencija ovisi o VFO-u, bit će moguće izvaditi »Zenericu« i na nježno mjesto staviti keramički kondenzator od 100 nF. To smo načinili i — tek za potrebe mjerenja

— povećali pogonski napon do 18 V. Uključivanje predajnika bilo je pri tom vrlo kratko, ali izlazna snaga je porasla preko 4 W.

Kod pogonskih napona ispod 12 V, razumije se, izlazna snaga pada, ali iskorištenje sve do 10 V ostaje bolje od 40%.

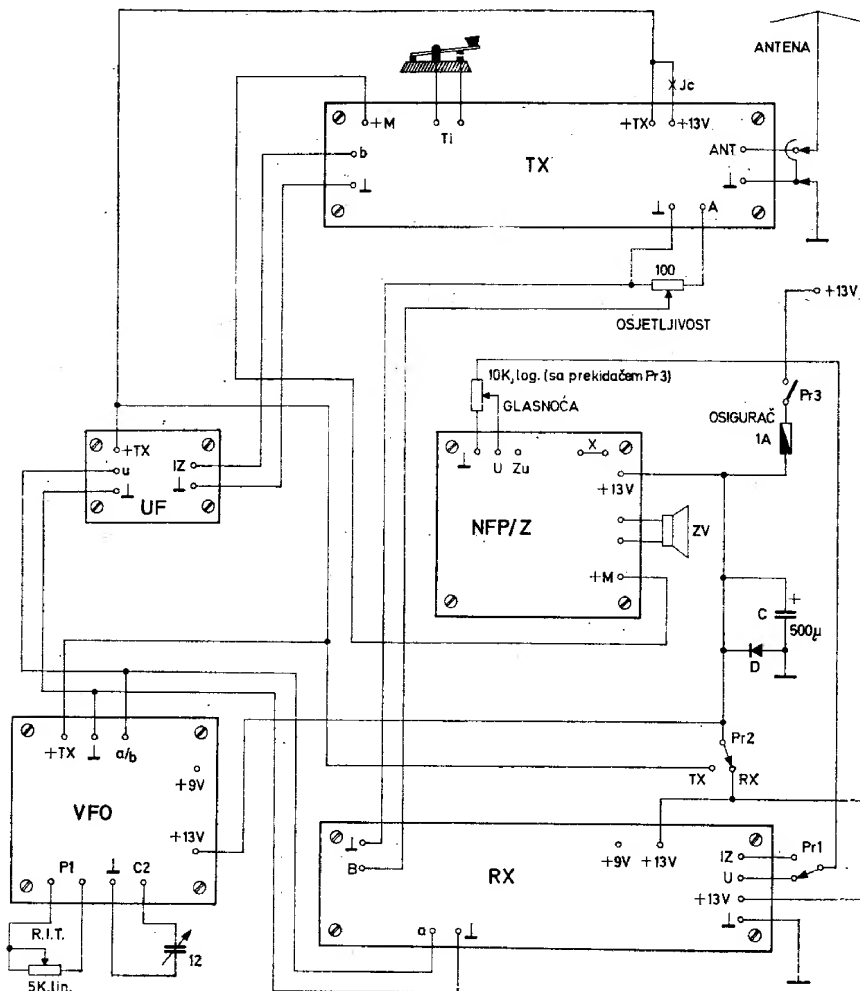
Optimalni pogonski napon je oko 13 V.

Sastavljanje primopredajnika »QRP-80«

Kad smo završili sa gradnjom svih pojedinačnih dijelova od kojih

se mora sastojati primopredajnik »QRP-80«, treba ih međusobno spojiti prema sl. 16-26. Svaka od tih pet pločica mora biti učvršćena sa po četiri vijka na limenu podlogu.

Na svakoj se pločici probuše po četiri rupice (3,1 mm Ø), ispod svake podmetne se mali metalni valjčić koji je probušen uzduž svoje osi. Tako će bakreni sloj pločice biti



Sl. 16-26. Ovako su međusobno spojene pločice »NFP/Z«, »VFO«, »RX«, »UF« i »TX« za primopredajnik »QRP-80«. D=silicijeva ispravljačka dioda (1N4004 ili sl.); C=elektrolitski kondenzator; Pr₁=Pr₂=jednopolni preklopnici; Pr₃=strujni prekidač. Ostalo u tekstu. Potrošak struje kod pogonskog napona od 13 V kod prijema: 35 do 100 mA, ovisno od glasnoći. Potrošak predajnika: struja mirovanja 40 mA; uz pritisnuto tipkalo (taster) 340 do 370 mA

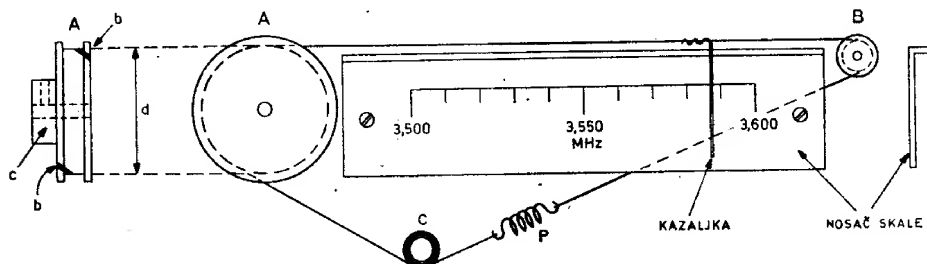
preko metalnog valjčića i vijka u dobrom kontaktu sa limenom podlogom.

Na priključnicu, označenu sa »+13 V«, i na limenu podlogu priključuje se struja za napajanje uređaja. To može biti 12-voltni akumulator ili ispravljač sa stabiliziranim naponom između 12 i 13,5 V. Prekidač Pr_1 služi za uključivanje i isključivanje. Neka bude smješten na potencijometru za regulaciju glasnoće (10 k Ω , log). Da se uređaj ne ošteti slučajnim priključivanjem pogrešnog polariteta pogonskog napona, dodani su dioda D i rastalni osigurač (maks. 1A). Ovaj osigurač onda pregori i na taj način sačuva uređaj. Kod ispravnog polariteta dioda D ne propušta struju i napajanje uređaja je normalno! Tu u blizini je i elektrolitski kondenzator od 470 do 500 μ F.

Kad se uređaj uključi, struja napajanja *stalno teče na VFO i na izlazno niskofrekventno pojačalo* (»NFP/Z«). Ako je preklopnik Pr_2 u nacrtanom položaju, on za vrijeme prijema propušta struju napajanja na prijemnik (»RX«). Pri prelaženju na emisiju dolazi preklopnik Pr_2 u svoj drugi položaj, veza sa prijemnikom se prekida, a struja napajanja odlazi na predajnik »TX«,

na udvostručivač frekvencije »UF« i na onu priključnicu na pločici »VFO« koja je označena kao »+TX«. Pojava napona na toj priključnici, na ranije opisani način, prekida funkciju R.I.T. kontrole tako da se za vrijeme rada predajnika ne može potencijometrom P_1 (5 k Ω , lin) utjecati na frekvenciju VFO-a. Vraćanjem preklopnika Pr_2 u položaj »RX« primopredajnik se ponovno osposobljava za prijem i R.I.T. kontrola je opet u svojoj funkciji. Tada potencijometrom P_1 možemo u nekim granicama (oko $\pm 1,5$ do ± 2 kHz) popraviti ugađanje prijemnika.

Posebnu pažnju treba posvetiti montaži i pogonu promjenljivog kondenzatora. On mora biti vrlo solidno učvršćen i sa VFO-om spojen pomoću ne predugačkih, čvrstih žica. Bez mehaničke *stabilnosti* samog kondenzatora i njegovih spoljnih žica *nema ni električne stabilnosti*. Stabilnost frekvencije je vrlo velika. Sam VFO je veći za nekoliko minuta od uključivanja bio toliko stabilan da su daljnje promjene frekvencije (kod primjeraka koje smo sagradili) bile manje od 50 Hz na sat (preračunato na opseg od 3500 do 3600 kHz!), uz uvjet da se sobna temperatura nije bitno promijenila.



Sl. 16-27. Jedna od mogućnosti finog okretanja promjenljivog kondenzatora koja se može ostvariti amaterskim sredstvima. A=kotač sa utorom, promjera $d=30$ mm (za dužinu skale od 141 mm i promjenljivi kondenzator sa ugrađenim prenosom 1:3). B=manji kotačić sa utorom. C=okrugla osovinica sa promjerom 6 mm, od nekog starog potencijometra; b=rupice na obodu kotača A, za učvršćenje nerastezljive niti koja vuče kazaljku; c=nastavak za učvršćenje kotača A na osovinu promjenljivog kondenzatora

Za okretanje promjenljivog kondenzatora i za pomicanje kazaljke uzduž neke pogodne skale mogu se upotrebiti još sačuvani »pogoni« različitih starih uređaja. Jednu od mehanički razmjerno jednostavnih mogućnosti vidimo na skici, sl. 16-27.

Oblik skale i limene kutije za ugradnju primopredajnika može amater načiniti po svom ukusu i mogućnostima. Sve se može smjestiti u kutiji koja je široka 19, visoka 10 i duboka 16 cm. Imali smo na raspolaganju baš takvu kutiju (»Sunko-Elektronika«, XIII divizije 36, 51311 Skrad), ali onaj amater koji želi sve sam načiniti, taj će moći kutiji dati i drukčiji »format«. Zapamtimo ipak da gradnju *ne treba zbijati u premalen prostor i težiti za nekom »minijaturizacijom«*. Bolje je posvuda ostavljati onoliko prostora da se prstima i lemilom može doći do svih dijelova uređaja.

Dugmad koju češće treba posluživati mora se nalaziti na lijevoj strani prednje ploče. Desna ruka inora ostati slobodna za pisanje!

Završne pripreme za rad primopredajnika

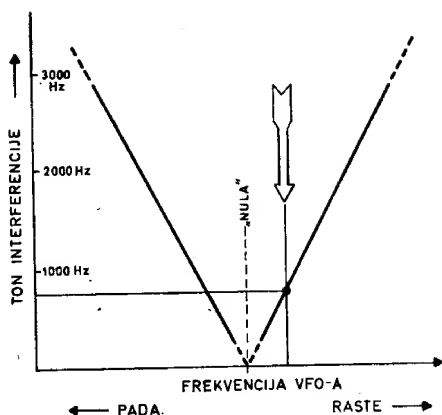
U završne pripreme za rad uređaja spada, razumije se, i postavljanje *antene*. U najjednostavnijem primjeru to će biti jednostavan dipol (vidi sl. 19-13 u poglavlju o antenama), napajan *televizijskim kaksijalnim kablom*, karakteristične impedancije od 75 Ω . Kod nabavke kabela je potrebno pripaziti na to da mu je *oplet*, koji predstavlja vanjski vodič, *što gušći*. Takav kabel možemo izravno spojiti sa sredinom dipola, ali je bolje da ga priključujemo preko nekog »baluna« s prenosom 1:1. Jeftin balun za samogradnju je opisan uz sl. 19-21 u ovoj knjizi. Dakako, njegovu zavojnicu treba zaštititi od vremenskih nepogoda tako da je stavimo u neku plastičnu kutiju, u koju će biti hermetički zatvorena.

Predajnikov izlaz je predviđen za opterećenje sa 50 Ω . Zbog toga je dobro upotrebiti i neki antenski prilagođivač, prema sl. 19-28 u vezi sa tzv. SWR-metrom, možda prema shemi na sl. 21-62, sl. 21-63 i sl. 21-64 ili njemu sličan uređaj. Takvim se prilagođivačem lako postiže da opterećenje predajnika odgovara »nominalnom« za koje je predajnik građen i ugođen. Na taj način će i antenski sistem najbolje *iskoristiti svu raspoloživu visokofrekventnu snagu, što je posebno važno kod svih QRP uređaja*.

Odnos između prijemne i predajne frekvencije

Odnos između prijemne i predajne frekvencije osobito je važan i zato ga treba pravilno odabrati. Najprije ćemo preklopnik *Pr₂* staviti u položaj »RX«. Na pločici VFO-a, kod oznake »+TX« prekinemo spoj i na to mjesto zaleмимо komad izolirane žice, dugačak 20 do 30 cm. U opsegu između 3500 i 3600 kHz potražimo bilo koji telegrafski signal i *ugađanjem promjenljivog kondenzatora* (12 pF) odaberimo neku ugodnu visinu tona. Sada o- nom dodatnom žicom dotaknemo jednu od priključnica koja je stalno u vezi sa naponom napajanja (+13 V). U prvi momenat će se visina telegrafskog tona promijeniti. Sada treba postepeno okretati *potenciometar R.I.T. kontrole* tako dugo dok pronađemo onaj položaj u kojemu se ton više ne mijenja, da ostaje *ista visina tona bez obzira da li je dodatna žica spojena na +13 V ili nije*. Taj položaj dugmeta za okretanje ovog potencijometra zabilježimo. To je »srednji položaj« za R.I.T. kontrolu. Kad smo to postigli, uklonimo pomoćnu žicu i sve spojimo kako je bilo.

Ostavimo sada potenciometar R.I.T. kontrole u tome srednjem položaju i *okrećimo (polagano!) promjenljivi kondenzator*. Kada se na taj način približujemo frekvenciji nekog telegrafskog signala po-



Sl. 16-28. Promjena tona interferencije kod promjene frekvencije VFO-a. Strelica pokazuje kako treba odabrati radnu frekvenciju za telegrafske veze u 80-metarskom amaterskom opsegu. Vidi tekst

javljuje se najprije visok interferentni ton (sl. 16-28) koji postaje sve niži, zatim vrlo dubok da ga konačno više ne čujemo. Okrećemo li dalje pojavljuje se opet dubok ton koji postepeno biva sve viši i viši da konačno sasvim nestane (uporedi sa sl. 9-9).

Vratimo promjenljivi kondenzator u onaj položaj gdje je bila »nula interferencije« (engl. »zero beat«) i sada »idimo« dugmetom R.I.T. kontrole lijevo i desno od srednjeg položaja. Signal se pojavljuje sa obje strane. Uključimo još i NF-filter (preklopnikom *Pr₁* i dugmetom R.I.T. kontrole promijenimo prijemnu frekvenciju naviše, toliko da se telegrafski signal najbolje čuje. Taj položaj mora imati dugme R.I.T. kontrole uvijek kada po skali prijemnika tražimo nekog korespondenta, kao i onda dok ga pozivamo našim uređajem.

Svaki ćemo signal moći čuti na dva bliza mjesta na skali, ali kazaljku moramo ostaviti u onom položaju kod kojega se signal čuje na onoj frekvenciji koja je od dvije viša! Samo onda će naša emisija

biti na istoj frekvenciji na kojoj radi i naš korespondent. Ako to pogrešimo, nitko nam se neće moći odazvati!

Kad je veza uspostavljena, ne smijemo više dirati dugme promjenljivog kondenzatora! Prijem smijemo, ako treba, popraviti samo dugmetom R.I.T. kontrole!

Graditeljima preporučujemo da pročitaju i opis ovog primopredajnika u časopisu »Radioamater«, od br. 7/8 do br. 12, 1984. godine, kao i opis takvog uređaja u časopisu »ABC tehnike«, br. 276, 277, 278, 279 i 280, također iz 1984. godine.

Povećanje izlazne snage dodatnim VF pojačalom

Sa izlaznom snagom oko 2 W (INPUT oko 4 W) može se, uz ovakav heterodinski prijemnik sa direktnom konverzijom, očekivati uspješno uspostavljanje telegrafskih radio-veza. Po danu će to biti moguće na udaljenosti do 300 ili 400 km. U kasnijim popodnevnim satima, kad se smrkava, kao i po noći, moguće su i znatno udaljenije veze, preko 500 do 1000 km i više, ovisno o prilikama, dakako i o tome da li je frekvencija zauzeta jačim signalima. No onda treba samo pričekati da se frekvencija oslobodi i veza će biti ostvarena. Treba biti strpljiv i pravilno pozivati, u pravi momenat! To je pravilo dobro poznato svim QRP amaterima.

Ukoliko netko poželi raditi sa većom snagom, može ovom primopredajniku dodati odgovarajuće pojačalo snage (PA). Dvije su mogućnosti prikazane shemama na sl. 11-70b i sl. 11-70c, kao i na sl. 11-72 u poglavlju o kratkovalnim predajnicima. Također mogu poslužiti i sheme na sl. 11-74 i sl. 11-76, kao i ona na sl. 11-79.

I u časopisu »Radioamater«, br. 1/1985. može se naći opis takvog pojačala sa domaćim snažnim tranzistorima. Ono, u vezi sa opisanim primopredajnikom »QRP-80«, daje izlaznu snagu oko 10 W.

PRIMOPREDAJNICI ZA UKV

Primopredajnici s kvarcovim kristalima

Primopredajnika za ultrakratke valove (UKV) ima više vrsta, prema tome za koje vrste rada su namijenjeni. Ima ih s kojima se mogu održavati veze na mnogo načina («Mode»): CW, FM, SSB i AM. Najrašireniji su oni koji omogućuju održavanje frekventno moduliranim, po »kanalima« razvrstanim frekvencijama. Jednim dijelom su te frekvencije predviđene za »simpleks« veze, kod kojih oba partnera, ili više njih, rade na istoj frekvenciji, *koristeći isti kanal*. Drugim dijelom su frekvencije radnih kanala određene za održavanje veza *preko repetitora*. Predajni dio pri tom radi na frekvenciji koju može primiti repetitor. Što repetitor primi, to on ponavlja na frekvenciji koja je — u pravilu — za 600 kHz viša (na dvometarskom opsegu!). Zato prijemni dio primopredajnika mora biti ugođen na tu, 600 kHz višu frekvenciju.

Primopredajnici takve vrste imaju samo tzv. birač kanala, bez ikakvog drugog ugađanja. Jedino još mora postojati dugme za regulaciju glasnoće i dugme za utišavanje prijemnika dok nema signala, za tzv. »skvelč«. *Posluživanje uređaja je reducirano na najmanju moguću mjeru* tako da ove primopredajnike mogu upotrebljavati i osobe bez većeg tehničkog znanja, »obiteljski« operatori i tome slični. Za održavanje frekvencije kod predaje i kod primanja postoje kvarcovi oscilatori (ili sintetizatori).

Takav primopredajnik je, da spomenemo jedan koji je našim amaterima odavno dobro poznat, »mobilni«, FT-223 (ili primopredajnik TR-7200 i drugi slični). Na sl. 16-29 vidimo djelomičnu shemu takvih uređaja. Prijemni dio ima oscilator s kvarcovim kristalima, sl. 16-29a, kojima je frekvencija blizu 15 MHz. Iza dva utrostručenja po-

stiže se frekvencija oko 135 MHz, potrebna za miješanje da bi se dobila međufrekvencija od 10,7 MHz.

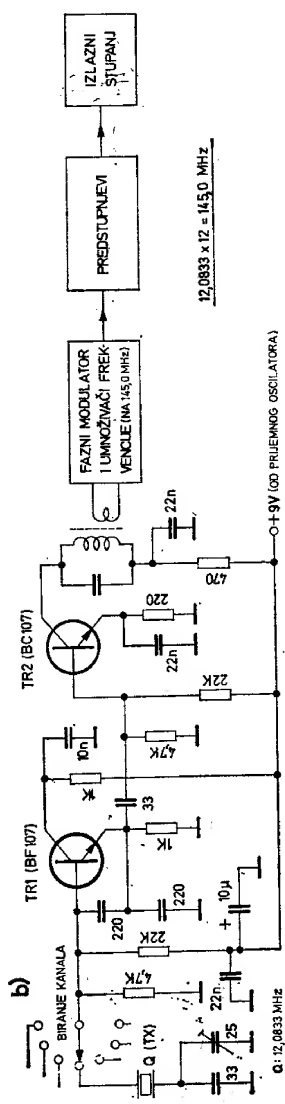
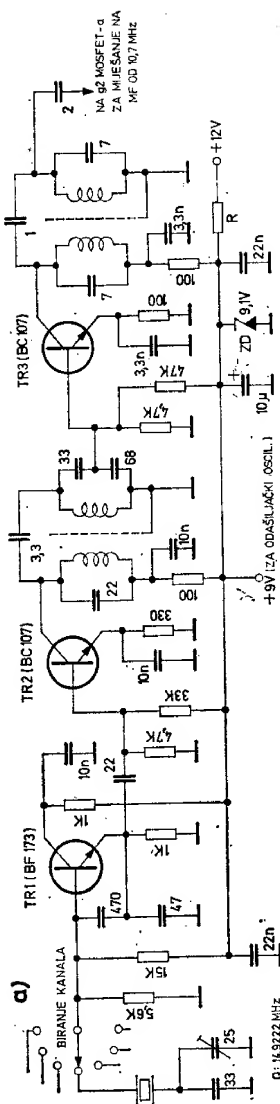
Predajni dio upotrebljava kristale kojima je frekvencija oko 12 MHz. Ovu frekvenciju, pošto je najprije fazno modulirana (vidi poglavlje 15), treba umnažanjem 12 puta povećati ($12,0833 \times 12 = 145,0$) da se »dode« na određenu frekvenciju FM-kanala.

Za biranje radnog kanala postoji zajednički preklopnik (sl. 16-29a i sl. 16-29b) kojim se pripadajući parovi kristala mogu uključiti i tako odabrati određene frekvencije.

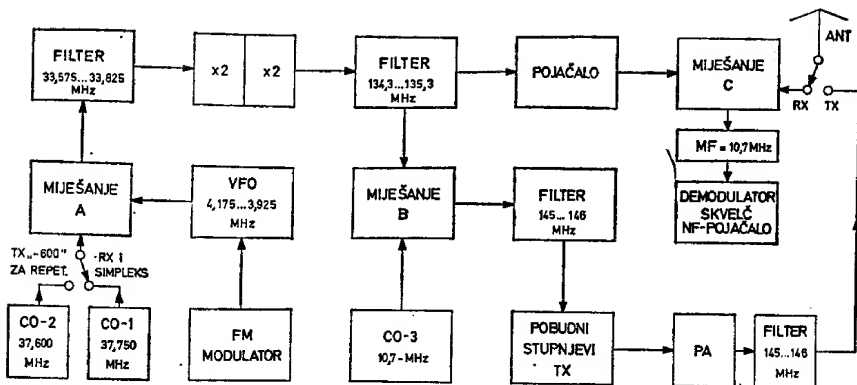
Ovakvo odabiranje radnih kanala veoma je korisno i za rad iz *automobila u pokretu*. Vozač nema mogućnosti da se mnogo bavi radio-stanicom. On mora svoju pažnju obratiti na vožnju i na promet. Dakako, za »lov« na udaljene stanice to nije ni predviđeno. Takav bi se »lov« mogao uporediti s nekim lovcom koji je svoju pušku učvrstio u nekom odabranom smjeru i onda odlučio da čeka ne bi li naišla neka divljač (HI).

Zanimljivo je i amatersko rješenje koje ide za tim da se izbjegne upotreba velikog broja kvarcovih kristala. Na sl. 16-30 vidimo blok shemu na kojoj su nacrtana dva kristalna oscilatora, CO-1 i CO-2. Prvi ima frekvenciju 37,750 MHz, a drugi 37,600 MHz. Oba kvarca su bila izvađena iz primopredajnika za CB-opseg, kada ga je trebalo napraviti na frekvencije građanskog opsega, koje se smiju kod nas upotrebljavati. Apsolutni iznos tih frekvencija nije toliko važan kao njihova međusobna razlika. Ona mora biti 150 kHz.

Tu je još VFO. Njegova frekvencija se mora mijenjati, u ovom primjeru, između 4,175 i 3,925 MHz. Frekvencije su toliko niske da je moguće postići vrlo dobru stabilnost. U stupnju za *MIJEŠANJE A* sastaju se frekvencije iz CO-1 i VFO i postiže se opseg od 33,575 do 33,825 MHz koji treba provesti kroz filter. Ovaj opseg obuhvaća samo



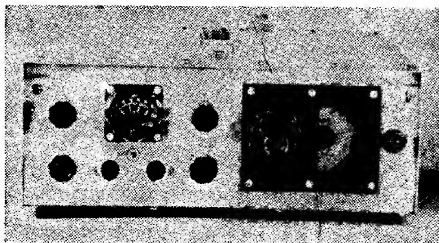
Sl. 16-29. Primopredajnike, kao što je, npr. »Kenwood TR-7200« i mnogi slični za FM-veze na dvometarskom opsegu, nazivaju »skladištima kristala« jer za svaki radni kanal treba poseban par kristala, jedan za prijemnik i jedan za predajnik. Ipak će sheme a) i b) dobro doći konstruktorima koji sami žele sagraditi primopredajnik za nekoliko kanala. Vidi tekst



Sl. 16-30. Samo tri kristala i amaterska domišljatost mogu omogućiti konstrukciju primopredajnika za »simpleks« i repetitorske veze frekventno moduliranim ultrakratkim valovima. Vidi opis u tekstu

250 kHz. Zato neće biti teško na-
činiti normalan bandfilter kojemu
je srednja frekvencija 33,7 MHz.
Poslije dvokratnog udvostručavanja
frekvencije postiže se opseg između
134,3 i 135,3 MHz, što upravo od-
govara za miješanje u prijemniku.
Uz međufrekvenciju od 10,7 MHz
omogućen je prijem od frekvencije
145 MHz do 146 MHz.

Za rad predajnika na istoj frek-
venciji na kojoj čujemo neku stan-
icu, potrebno je u stupnju za MI-
JEŠANJE B, uz dodatak injekcije
iz CO-3, oscilatora s kvarcom za
frekvenciju 10,7 MHz, postići odgo-
varajuću predajnu frekvenciju i od-
vesti je u pobudne stupnjeve i da-
lje u PA, te kroz filter u antenu.
Tada je, razumije se antenski pre-
klopnik u položaju TX.



Sl. 16-31. Izgled primopredajnika
za opseg od 144 MHz, kao primjer
amaterske gradnje

Za rad preko repetitora je po-
trebno najprije čuti repetitor i ka-
da smo prijemnik optimalno ugo-
dili, preći na predaju, ali sada sa
oscilatorom CO-2. Emisija će biti
na frekvenciji koja je za 600 kHz
niža. Ova razlika odgovara četvero-
strukoj razlici među frekvencijama
oscilatora CO-1 i CO-2.

Tako se može načiniti uspješna
konstrukcija bez »skladišta« krista-
la. Potrebna su ukupno tri!

Princip PLL-sistema za pripre-
manje potrebnih frekvencija može
se naći u poglavlju 8.

Transverteri za sve vrste signala na UKV frekvencijama

Pod imenom »konvertor« poznati
su uređaji pomoću kojih je omo-
gućen prijem UKV frekvencija na
nekom prijemniku za niže frekven-
cije. Ako neki uređaj omogućuje,
primjenom istog principa, još i e-
misiju na UKV području, preuzi-
majuci signal iz nekog predajnika
ili — još bolje — iz nekog primo-
predajnika, imamo »transverter«
(naziv dolazi skraćivanjem od engl.
»Transmitting Converter«).

Transvertere grade mnogi amate-
ri sami, za svoje potrebe (sl. 16-31),
ali ih ima i gotovih, tvorničke iz-

rade (sl. 16-32). Moguće ih je graditi na različite načine. Mi ćemo se ograničiti na opis transvertera koji je bio objavljen u našem časopisu (*»Radioamater«*, br. 7/8, 1977). Autor je YUIEU.

Shema transvertera je na sl. 16-33a i sl. 16-33b. Druga slika je nastavak prve. Vodove koji su na jednoj označeni slovima *a*, *b* i *c* treba spojiti s jednako označenim vodovima na drugoj slici. Shema



Sl. 16-32. Transverteri su posebna vrsta amaterskih UKV primopredajnika koji se priključuju iza nekog postojećeg kratkovalnog uređaja. Na slici je »FTV-901 R«, transverter kojim je omogućen rad, po želji, na dvometarskom ili na 70-centimetarskom UKV opsegu

je u cijelosti preuzeta iz *»Radioamatera«*. Zadržali smo i isti način označavanja vrijednosti dijelova. Tako je npr. otpornik R_{18} označen kao »2K2« što znači 2,2 k Ω . Na ostalim shemama u ovoj knjizi takav bi otpornik bio označen kao 2,2 K. Otpornici kojima je vrijednost ispod 1 k Ω i svi kapaciteti označeni su na isti način, kao i ostali u knjizi. Napominjemo, za one koji budu upoređivali ove sheme sa onima u časopisu, da smo izvršili neke manje ispravke. Bilo je nekoliko, uglavnom crtačkih omaški.

Prva tri tranzistora pripadaju prijemnom konvertoru. TR_1 je u

visokofrekventnom pojačalu, TR_2 u stupnju za miješanje, dok je tranzistor TR_3 u međufrekventnom pretpojačalu. Sve zavojnice treba staviti u oklopne lončice: T_1 , T_2 , T_3 i T_4 .

Tranzistor TR_4 je u oscilatorskom stupnju koji s kvarcom Q proizvodi titraje od 38,667 MHz. Ovi se u slijedećem stupnju, sa TR_5 , utrostručuju. Da bi tako dobivena frekvencija 116 MHz bila što čišća upotrebljen je bandfilter sa zavojnicama L_{10} i L_{11} . Otuda se uzima injekcija za miješanje u prijemnom, kao i u predajnom dijelu transvertera.

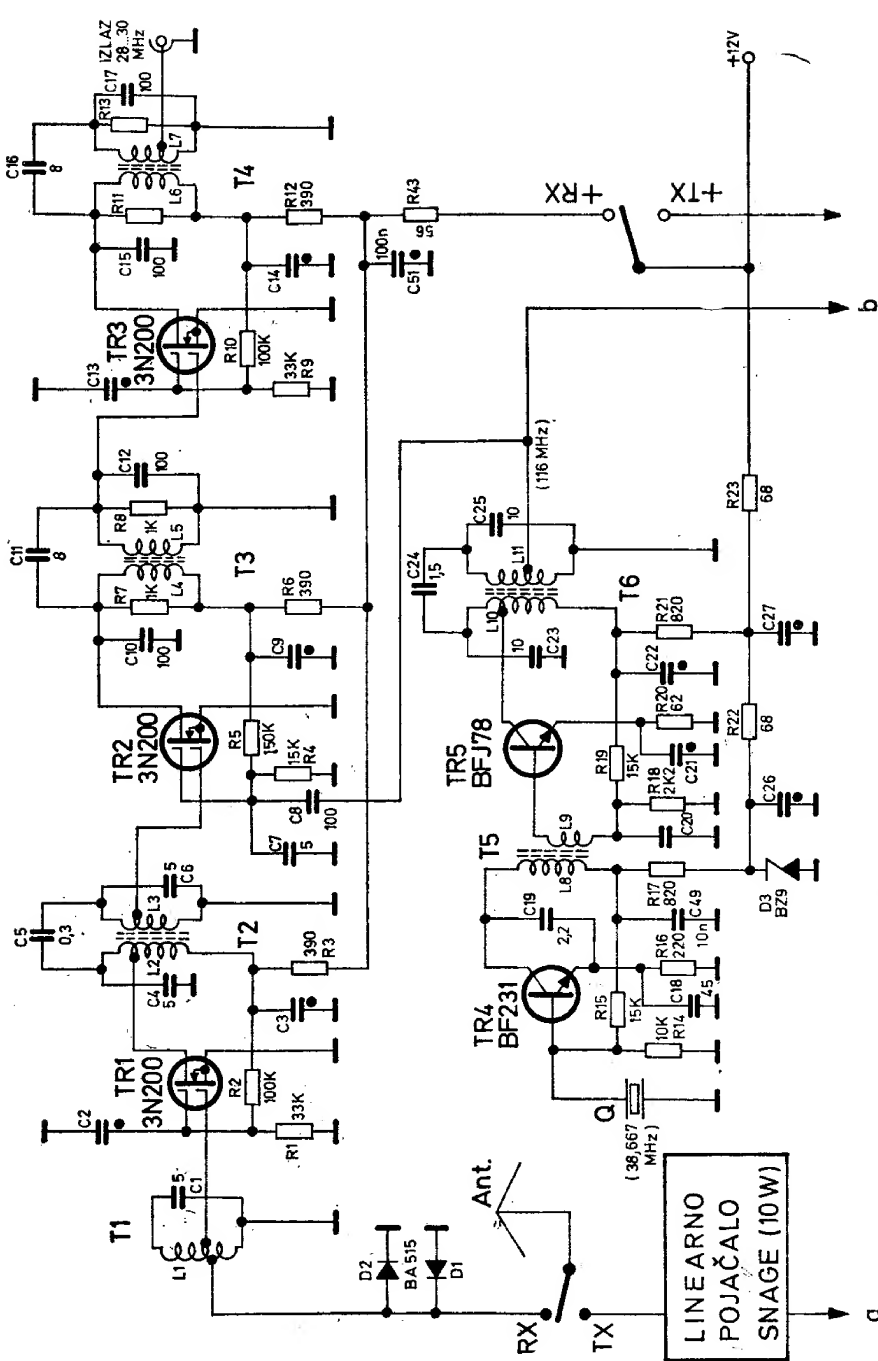
Na ulazu u predajni dio transvertera je *attenuator* kojim se mora snaga iz 10-metarskog primopredajnika najprije toliko oslabiti da predajnik može raditi bez izobličenja, linearno. Načrtane vrijednosti otpornika vrijede u slučaju da ta snaga ne prelazi preko 1 W. Ako treba, možemo attenuator prilagoditi konkretnim uvjetima rada.

U tranzistoru TR_6 transponira se 10-metarski signal u opseg od 144 do 146 MHz. Obično će to biti moguće u četiri pojedinačna dijela po 500 kHz širine za svaki od njih. To je zato, jer je kod većine kratkovalnih primopredajnika desetmetarski opseg razdijeljen, u četiri dijela.

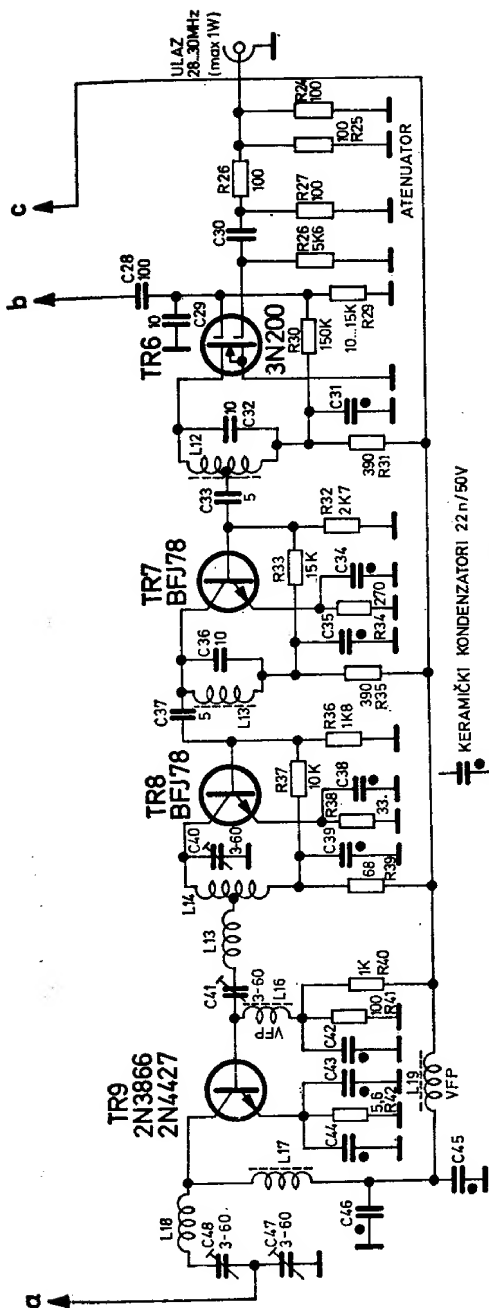
Tranzistori TR_7 i TR_8 podižu snagu dvometarskom signalu. TR_8 je pobudno pojačalo iz kojega se izlazna snaga može odvesti direktno u antenu, ukoliko se zadovoljimo sa QRPP oko 1 W. Na shemi je naznačeno da se s tom snagom može pobuđivati dodatno linearno pojačalo snage do 10 W.

O gradnji i ugađanju prijemnih konvertora bilo je već govora u poglavlju 10, a oscilatorima u poglavlju 8, a o visokofrekventnim UKV pojačalima u poglavlju 12. Zato vjerujemo da ovdje nije potreban neki detaljniji opis, tim više što je sve naširoko opisano u *»Radioamateru«*.

Originalan izgled štampane pločice na vitroplastu koji je kaširan bakrenom folijom samo sa jedne



Sl. 16-33a. Shema dvometarskog transvertera za sve vrste signala, prema YU1EU. Vidi tekst i nastavak sheme na sl. 16-33b



Sl. 16-33b. Nastavak sheme sa sl. 16-30a. Opis u tekstu

strane, veličine 163×105 mm, donosimo na sl. 16-34. Raspored sastavnih dijelova na njoj vidljiv je na sl. 16-35. Prikazana je ona strana na kojoj je bakar! Prema tome dijelovi su na suprotnoj strani (kao da gledamo kroz pločicu!). Transistori TR_1 , TR_2 , TR_3 i TR_4 bilo je potrebno okrenuti »naopako«, to znači kućište prema pločici a priključne žice prema gore. Žice treba pažljivo savinuti i zalemiti na predviđena mjesta. Da one budu što kraće, neki su graditelji u pločici izbušili rupice i u njih utaknuli tranzistor-ska kućišta. Pri tom treba paziti da se kućište nigdje ne dotiče bakrene folije na suprotnoj strani.

Ovaj transverter, prema YU1EU, gradio je kod nas veći broj amatera s vrlo dobrim uspjehom. Neki od njih su na istu pločicu uspjeli dograditi i linearno pojačalo (s tranzistorom 2N3632 ili nekim sličnim). Tako su, kod SSB-sigнала, mogli postići izlaznu snagu (prosječnu!) do 4 W; kod telegrafije ili, FM-sigнала do 10 W bez izobličenja. Takav transverter pokazuje sl. 16-36.

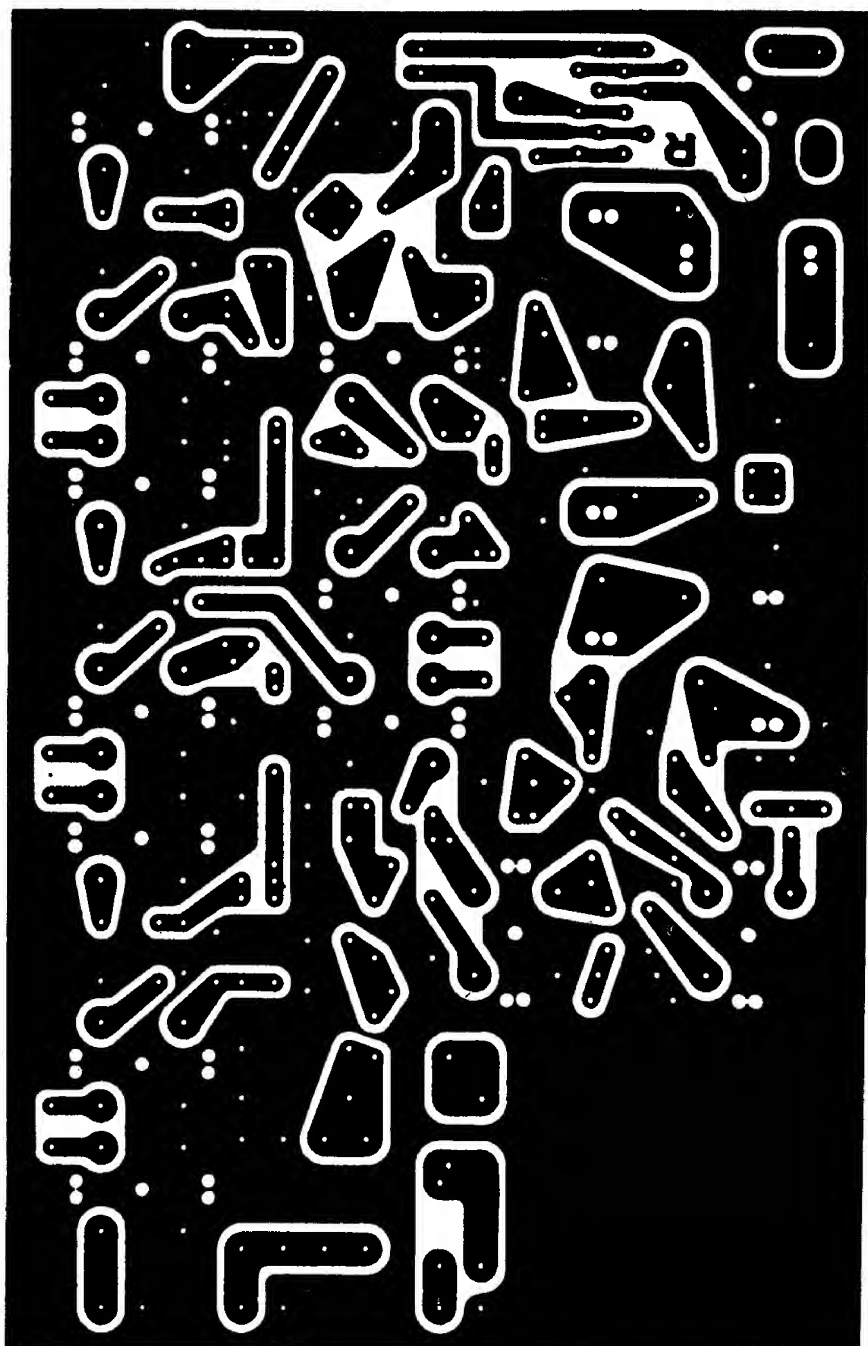
Tablica 16-4 sadrži podatke o zavojnicama.

Upotreba prekidačkih dioda u primopredajnicima

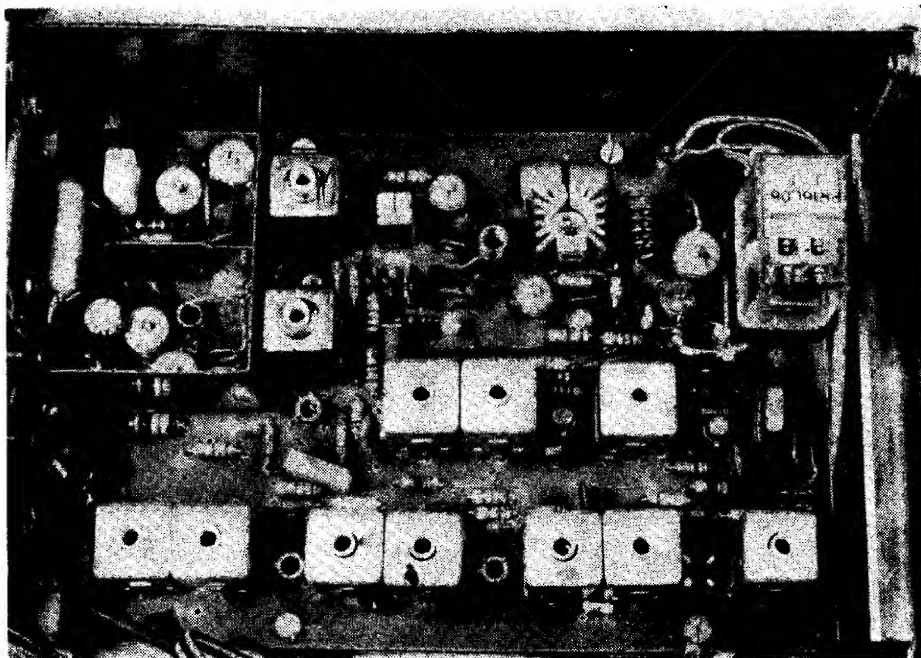
Osim svojih ventilskih svojstava, koja omogućuju primjenu dioda u ispravljačima i demodulatorima različitih vrsta, diode se upotrebljavaju i kao prekidači. U toj ulozi smo ih već upoznali. To je bilo u poglavlju o prijemnicima (sl. 9-35 i sl. 9-37) gdje su diode bile u službi promjene selektivnosti međufrekventnog pojačala. Na sl. 16-37 je primjer upotrebe dioda za prelaz sa prijema na predaju i obrnuto.

Vrlo često se u primopredajnicima za prelaz »prijem-predaja« upotrebljavaju releji. Releja ovdje nema. Oni su zamijenjeni diodama koje rade kao prekidači u različitim strujnim krugovima.

Shema na sl. 16-37 je dio UKV-primopredajnika koji je sagrađen



Sl. 16-34. Štampana pločica iz jednostrano kaširanog vitroplasta za primopredajni transverter prema YUIEU (163×105 mm)



Sl. 16-36. Pogled u unutrašnjost dvometarskog transvertera, kako ga je sagradio YU2CO, prema sl. 16-33a, sl. 16-33b, sl. 16-34 i sl. 16-35. Amateri-konstruktori uvijek dodaju nešto »svoga«. Ovdje je dodan linearni izlazni stupanj s tranzistorom 2N3632. Za tu svrhu je iskorišteno slobodno mjesto na pločici (sl. 16-34). Vidi tekst

na suvremen način (TNX YU2REJ). Blizu sredine slike nacrtane su strelice. Jedna pokazuje da se na lijevoj strani nalazi predajnik, dok se druga, koja pokazuje udesno, odnosi na ulazni dio prijemnika.

Iz oscilatora VCO, koji je kontroliran PLL-petljom, predajna frekvencija stiže na ulazni dio predajnika i dolazi do diode D_1 . Ako treba da radi predajnik, uključen je pogonski napon »+TX«. Preko otpornika R_2 dioda D_1 je polarizirana za propuštanje električne struje. Njezin je otpor malen i signal odlazi na VF transformator T_1 . Istovremeno je i dioda D_2 propusno polarizirana preko R_3 i R_4 . Signal ide nesmetano dalje, na tranzistor TR_1 u pobudnom pojačalu. Na diodi D_3 nema nikakvog prednapona, njezin

otpor je vrlo velik i ona ne može propustiti VF signal koji je vrlo male amplitude, ispod 0,7 V.

Pobudno pojačalo ima ukupno tri stupnja koji rade u klasi C, budući da je konstruktor predvidio rad sa frekventno moduliranim signalom (FM). Iza pobudnog pojačala, koje nismo detaljno prikazali, slijedi izlazni stupanj s tranzistorom TR_4 . Zavojnice L_1 i L_2 , sa pripadnim kondenzatorima, u kolektorskom strujnom krugu ne razlikuju se bitno od onoga što smo upoznali u poglavlju o UKV predajnicima (12). Treba spomenuti samo zavojnicu L_3 u serijskom titrajnom krugu na izlazu predajnika. Taj je titrajni krug ugođen na treću harmoničku frekvenciju koja se može pojaviti u pojačalima klase C i ta-

Tablica 16-4. Podaci o zavojnicama UKV transvertera prema sl. 16-33

Zavojnica	Broj zavoja	Odvojak kod...	Debljina žice (mm)	Napomena
L_1	5 3/4	1 1/4	0,8; CuAg	Na tijelu promjera 5 mm*)
L_2	5 1/2	3 1/4	0,8; CuAg	**)
L_3	5 1/2	3 1/4	0,8; CuAg	**)
L_4	10 1/2	—	0,65; CuL	**)
L_5	10 1/2	—	0,65; CuL	**)
L_6	10 1/2	—	0,65; CuL	**)
L_7	10 1/2	2 1/4	0,65; CuL	**)
L_8	10 3/4	—	0,65; CuL	**)
L_9	2 3/4	—	0,65; CuL	**) Uz hladni kraj L_8
L_{10}	5 1/2	3 1/4	0,8; CuAg	**)
L_{11}	5 1/2	3 1/4	0,8; CuAg	**)
L_{12}	4 3/4	?	0,8; CuAg	**) Odvojak odredi eksperimentalno
L_{13}	4 3/4	—	0,8; CuAg	**)
L_{14}	3	1 1/2	0,8; CuAg	Bez tijela. $\varnothing = 7$ mm
L_{15}	4	—	0,8; CuAg	Bez tijela. $\varnothing = 7$ mm
L_{16}	—	—	0,65; CuL	VF prigušnica; 45 cm žice na promjeru 3 mm
L_{17}	15	—	0,65; CuL	Na feritnom štapiću; $\varnothing = 5$ mm
L_{18}	5	—	0,8; CuAg	Bez tijela. $\varnothing = 7$ mm
L_{19}	—	—	0,65; CuL	VF prigušnica kao L_{16}

*) SA UKV feromagnetskom jezgricom za ugađanje.

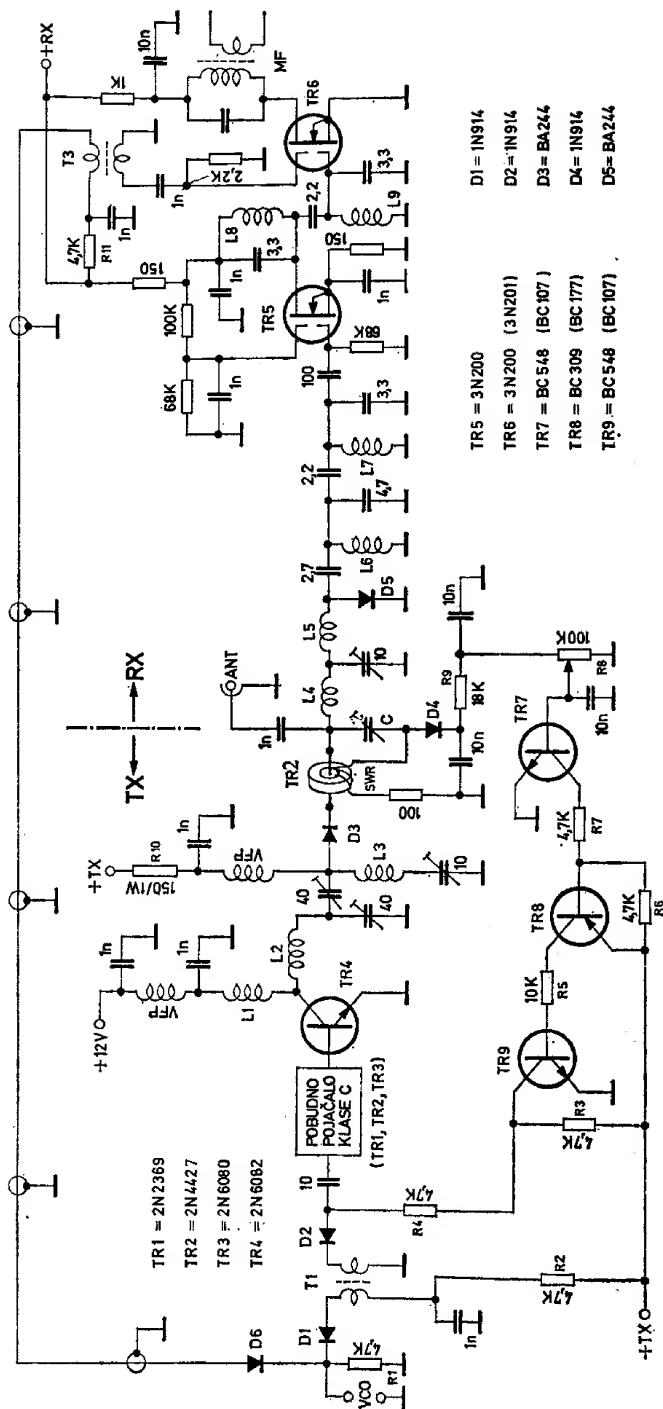
**) Tijelo i jezgrica za ugađanje kao L_1 .

ko je sprečeno da titraji te frekvencije odu u antenu.

Signal koji treba emitirati odlazi preko diode D_3 , kroz strujni transformator T_2 i preko kondenzatora od 1 nF na antensku koaksijalnu priključnicu. Prolaz visokim frekvencijama kroz D_3 omogućen je propusnim polarizacijskim naponom koji šalje struju od »+TX«, preko R_{10} i prigušnice VFP. Kroz tu diodu struja nastavlja dalje i teče kroz L_4 u L_5 , zatvarajući strujni krug preko diode D_8 . I ovoj diodi je otpor malen pa ona kratko spaja ulaz u prijemnik! Da se tim putem ne

gubi VF energija, L_4 i L_5 , zajedno sa svojim trimerskim kapacitetom (10 pF) resoniraju na radnoj frekvenciji predajnika i predstavljaju za tu frekvenciju veliku impedanciju.

Transformator T_2 je mjerni transformator koji — s pripadnim dijelovima uređaja — omogućuje kontrolu stojnih valova (SWR). T_2 ima kao »primarnu zavojnicu«, zapravo, samo žicu koja prolazi kroz prsten od ferita, na kojemu je transformator namotan. Sekundarno ima nekoliko zavoja u kojima se inducira VF napon. Taj se napon vodi na dio-



Sl. 16-37. Dioda kao prekidači za prelaz »prijem-predaja« u dvometarskom primopredajniku, prema YU2REJ. Opis u tekstu

du D_4 . Na istu diodu dovodi se VF napon i preko trimerskog kondenzatora C . Njegov kapacitet je dobro odabran *ako se oba VF napona ponije, uz uvjet da je izlaz predajnika pravilno opterećen neinduktivnim otpornikom od 50 Ω ili sa resonantnom i pravilno ugođenom antenom*, preko koaksijalnog antenskog voda u kojemu nema stojnih valova ($SWR = 1$). Onda preko R_9 i TR_9 ne teče struja.

Pojavi li se na izlazu predajnika nedopušteno velik SWR -odnos, na diodi D_4 se pojavi VF napon i — ukoliko je ispravljena struja dovoljno jaka — može se »otvoriti« tranzistor TR_7 . Tranzistori TR_7 , TR_8 i TR_9 rade kao *istosmjerno pojačalo*.

Kad se TR_7 otvori, njegova kolektorska struja će, preko R_7 i R_8 , otvoriti i slijedeći tranzistor, TR_8 . Njegovim posredovanjem otvori se i TR_9 koji kratko spoji dovod struje što teče od »+TX« preko R_3 . Zato dioda D_2 ostaje bez prednapona i prekine vezu između T_1 i ulaza pobudnog pojačala.

Ovisno o veličini SWR -odnosa (vidi u poglavlju 19) tranzistor TR_9 može biti i samo djelomično otvoren. U takvom stanju on samo djelomično sprečava propuštanje VF signala kroz D_2 . Pobuda postaje manja. Na taj način se i *izlazna snaga predajnika smanji, to više što je SWR lošiji*. Tako izlazni tranzistor TR_1 ne može stradati.

Kod prijema nije uključen napon kod »+TX«. Umjesto toga uključuje se napon na »+RX«. Ovaj napon također djeluje na diode i to na slijedeći način.

Kao prvo, dioda D_1 i dioda D_2 ostaju bez prednapona i ne mogu više propustiti VF signal. Da prekid bude potpuniji, preko R_{11} i T_3 poteče struja koja otvori diodu D_8 i zaporno djeluje na D_1 . VF signal odlazi, preko diode D_8 i preko transformatora T_3 , na *tranzistor za miješanje u prijemnom dijelu uređaja*, na TR_5 . Dioda D_3 i D_5 također ostaju bez prednapona, ispadaju iz

funkcije i kao da više ne postoje. Mali visokofrekventni naponi koji dolaze od antene ne mogu prema predajniku. Oni odlaze, preko L_4 i L_5 prema ulaznom titrajnom krugu sa zavojnicom L_6 , zatim prema titrajnom krugu sa zavojnicom L_7 , te konačno na ulaz tranzistora TR_5 u visokofrekventnom pojačalu *na ulazu prijemnika*. Signal koji primamo prolazi tako kroz ulazni bandfilter koji osigurava dobru ulaznu selektivnost.

Glavni preduvjet da neka dioda može poslužiti kao prekidačka za visoke frekvencije je *malen kapacitet*. Kapacitet diode mora biti to manji, što je frekvencija u strujnim krugovima, koje treba prekidati, viša. Dioda D_1 , D_2 i D_3 mogu biti visokofrekventne silicijeve diode 1N914 (i slične). Dioda D_8 i D_5 moraju, osim malenog vlastitog kapaciteta, imati i sposobnost da propuste visokofrekventne struje veće jakosti.

Nijedna od dioda koje rade u prekidačkom režimu *ne ispravlja visokofrekventnu struju koja kroz nju teče*, sve dok je vršna vrijednost visokofrekventnog napona na diodi manja od istosmjernog napona kojim je zaporno polarizirana. U *propusnom smjeru dioda djeluje samo kao malen otpor* pa se zbog toga samo neznatno zagrijava.

PRIMOPREDAJNICI ZA VEZE MIKROVALOVIMA

Rad na mikrovalnom području kod naših radioamatera bio je dugo godina zapostavljen. Ako izuzmemo nekoliko pokušaja na 1296 MHz praktički se nije radilo ništa. Razlog tome je nedostatak literature prilagođene radioamaterskoj upotrebi, a sigurno i nemogućnost nabavke kritičnog materijala.

Posljednjih nekoliko godina situacija se izmjenila. Poluvodičke mikrovalne komponente (npr. Gunn dioda) sve se više koriste za svakodnevne potrebe (zaštita od provale,

radari za mjerenje brzine vozila i slično) te su i radioamaterima postale dostupne. Radioamateri koji su više zainteresirani za održavanje veza nego za konstruktorstvo, mogu danas nabaviti gotove tvorničke sklopove i izbjeći rad turpijom, koja je na mikrovalnom području čest alat.

Od svih frekvencija iznad 1 GHz, koje koriste radioamateri, zadržat ćemo se na »X bandu«, što je oznaka frekvencijskog područja od 8,2 do 12,4 GHz. Razlog tome je relativno jednostavna oprema.

Jugoslavenski radioamateri mogu koristiti područje od 10,25 do 10,50 GHz; talijanski od 10,40 do 10,50 GHz, a austrijski od 10,00 do 10,50 GHz, što znači da su moguće veze i s našim susjedima koji su vrlo aktivni na tom području. Upravo ta činjenica omogućila je da YU3JN 2.7.78. održi prvu vezu na 10 GHz sa talijanskim stanicama I3DEW/3 i IW3QCV/3 uz QRB od 16 km. Nedugo iza toga on je ostvario i YU rekord od 563 km, što je danas drugi nacionalni rekord u svijetu. Svjetski rekord su dugo vremena držali Englezi sa 521 km ali su ga unazad dvije godine talijanski radioamateri nekoliko puta popravljali. On danas iznosi 830 km, a postavili su ga I4CHY/SV8 i I6ZAU/SV8 sa IW4AH/4, 11.7.81.

Naši radioamateri (aktivno ih je danas oko tridesetak) rade tzv. *širokopojasnom frekventnom modulacijom*. Osim prenosa govora radi se i amaterskom televizijom (ATV).

Snage odašiljača su od 5 do 40 mW, a antene su različite, od malih piramidalnih antena pa do parabola s promjerom 1,2 m. Uskopojasne emisije (CW i SSB) nisu kod nas još zastupljene zbog relativno skupe opreme.

Iz ovoga se vidi da nisu imali pravo oni skeptici koji su prigovarali mikrovalnim amaterima da održavaju veze po sistemu: »Bolje te vidim nego što te čujem«.

PASIVNE MIKROVALNE KOMPONENTE

Valovodi

Za uspješan prenos visokofrekventne energije sa jednog mjesta na drugo, npr. od odašiljača do antene, potreban je prenosni sistem sa što manjim prigušenjem. Poznato je da sa porastom frekvencije gubici na koaksijalnom kabeu rastu, te kod kvalitetnih kabela sa teflonskom izolacijom dostižu 6 do 10 dB/m na 10 GHz. Uzrok tome je skin efekt u vodiču, gubici u izolatoru, te zračenje energije u okolni prostor.

Iz ovoga se vidi da je primjena koaksijalnog kabela na mikrovalnom području nezgodna. Neophodno je primijeniti prenosni sistem sa znatno manjim prigušenjem. To je *valovod*. On se sastoji od šuplje metalne cijevi pravokutnog ili kružnog presjeka određenih dimenzija. Elektromagnetski val se unutar takve strukture višestruko odbija od pojedinih stijenki, te uzduž valovoda nastaju stojni valovi.

Materijal od kojega se izrađuje valovod mora biti dobre električne vodljivosti (bakar, mjed, srebro) kako bi se gubici sveli na minimum. Praktički *ne postoje dielektrični gubici* jer je valovod ispunjen zrakom, a nema ni zračenja u okolni prostor jer se valovi šire u unutrašnjosti. Ukupni gubici su jedan do dva reda veličine (10 do 100 puta) manji nego kod koaksijalnog kabela na istoj frekvenciji. Postoji još jedna činjenica koja predstavlja kvalitativnu razliku između ova dva prenosna sistema. Dok koaksijalni kabel može prenositi sve signale od najnižih frekvencija (uključujući i istosmjernu struju) pa naviše, valovod može prenositi *samo one frekvencije koje su iznad neke kritične »donje granične frekvencije«*. Njoj odgovara granična dužina vala λ_g ovisna o dimenzijama valovoda. Pokazalo se da $\lambda_g/2$ odgovara širini valovoda. Tako valovod, širok 2 cm

ima graničnu dužinu vala $\lambda_g = 4$ cm. Svaki signal veće valne dužine bit će potpuno prigušen. Drugim riječima, njegovo širenje valovodom nije moguće. Zato *moraju dimenzije valovoda biti prilagođene toj frekvenciji*. U praksi se uzimaju maksimalne unutrašnje dimenzije valovoda veličine $0,95\lambda \times 0,45\lambda$.

Valovod se može koristiti *samo u određenom području frekvencija* koje je s donje strane omeđeno kritičnom frekvencijom, a s gornje strane njenom dvostrukom vrijednošću. Dimenzije valovoda su standardizirane tako da za mikrovalno područje od 1 do 40 GHz postoji 18 standardnih tipova. Za radio-amatersko područje 10 GHz njegova je oznaka WG 16 («British Standard») ili WR 90 («Retma») ili R 100 («153-IEC»). Unutrašnje dimenzije su $22,86 \times 10,16$ mm.

Za nabavku odgovarajućih valovoda na raspolaganju nam ponekad stoje viškovi mikrovalnih dijelova radara (na otpadu), iako treba imati dosta sreće u traženju. Međutim, umjesto standardnog valovoda moguće je upotrijebiti pravokutni profil od mjedi (mesinga) dimenzija koje su slične standardnim. Kod toga treba imati na umu slijedeće: 1) *Nije moguće naš ne-standardni valovod uključiti u sistem sa standardnim komponentama*. 2) *U literaturi, koja obrađuje gradnju mikrovalnih sklopova, dimenzije se odnose na standardni valovod. Potrebno ih je korigirati*.

Valna dužina unutar valovoda nije ista kao u slobodnom prostoru. Ona ovisi o dimenzijama valovoda:

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}$$

gdje su:

λ_p = valna dužina paralelno sa ploham valovoda;

λ = valna dužina u slobodnom prostoru;

λ_g = kritična dužina vala koja je jednaka dvostrukoj širini valovoda.

Za standardni valovod WG 16 parametri su slijedeći:

širina valovoda: $b = 22,86$ mm,

kritična dužina vala: $\lambda_g = 2b = 25,72$ mm.

kritična frekvencija: $f_g = 6,56$ GHz.

Ako tim valovodima prenosimo signal frekvencije 10,3 GHz, njegova dužina vala u slobodnom prostoru je $\lambda = 29,1$ mm.

Račun za dužinu vala u valovodu (λ_p) daje iznos od 37,73 mm.

Načinimo li valovod od pravokutnog profila unutarnjih dimenzija 18×8 mm dobijemo za istu frekvenciju:

$\lambda_g = 36$ mm,

$f_g = 8,33$ GHz,

$\lambda = 29,1$ mm,

$\lambda_p = 49,43$ mm.

Ako razmak između dvije komponente, ugrađene u valovod, mora biti $\lambda_p/2$ onda će (na frekvenciji 10,3 GHz) u standardnom valovodu to iznositi 18,9 mm dok će u našem nestandardnom valovodu biti 24,7 mm.

Da bi se valovod mogao spajati sa ostalim dijelovima mikrovalnog sistema (antonom, resonatorom i sl.), na njegove krajeve montiraju se *prirubnice*. Njihove su dimenzije također standardizirane. One imaju rupe za vijke kojima se dvije prirubnice međusobno učvršćuju. Dotirne površine moraju biti *vrlo glatke* kako na mjestu spoja ne bi nastajali gubici.

Pri radu sa valovodom treba voditi računa da u njemu ne ostane tragovi kositra (kalaja) od lemljenja. Bolje je tvrdo lemljenje srebrom jer je to materijal koji ima bolju vodljivost i manje apsorpira mikrovalnu energiju. Također treba dobro očistiti sve tragove vode, ulja ili strugotine nakon obrade, kako bi se izbjegli dodatni gubici. Osim toga *valovod mora iznutra biti gladak, bez ogrebotina!*

Mikrovalni resonator

Mikrovalni elektromagnetski resonator analogija je titrajnom krugu na nižim frekvencijama. To je šupljina, zatvorena stijenkama od dobro vodljivog materijala. Mehanizam koji omogućuje »usklađivanje« mikrovalne energije je višestruka refleksija elektromagnetskog vala od stijenki resonatora, uz stojne valove. Pri tom se javljaju zamršene konfiguracije električkog i magnetskog polja, tzv. »modovi«, te je matematičko određivanje resonantne frekvencije prilično teško. *Q-faktor mikrovalnog resonatora* može dostići iznose od nekoliko puta 10^4 .

Pravilnom ugradnjom aktivnog elementa možemo dobiti oscilator. Frekvencija je određena mikrovalnim resonatorom. Za fino ugađanje frekvencije služi vijak, izrađen od mjedi, teflona ili poliestera. Mjenjajući vijkom *volumen* resonatorove šupljine, mijenjamo i frekvenciju.

Resonator se sastoji od komada valovoda, zatvorenog vodljivim ploham. Mikrovalna energija dovodi se ili odvodi preko posebnih otvora na resonatoru.

Usmjereni sprežnik

Kod mikrovalnih prijemnika koristi se heterodinski princip koji susrećemo i na nižim frekventnim područjima. Specifičnost rada na 10 GHz je tzv. »tehnika međufrekvencijske razlike«. Odašiljačke se frekvencije korespondenata razlikuju za iznos međufrekvencije. To uveliko olakšava izradu primopredajnika jer se koristi *isti oscilator* i za odašiljač i za prijemnik.

Diodi, koja radi kao mikser, potrebno je privesti injekcijski signal, npr. dio energije što je daje oscilator. To mora biti uz što manje gubitke, kako bi preostala energija bila iskorištena za odašiljač. Za ovu se svrhu upotrebljava tzv. *usmjereni sprežnik* koji se sastoji

od dva valovoda, smještена jedan pokraj drugoga, jedan iznad drugoga ili tako da su im uzdužne osi međusobno okomite. Veza među njima postiže se s dva otvora koji su razmaknuti $\lambda_p/4$. Njihovim promjerom određen je »faktor veze«.

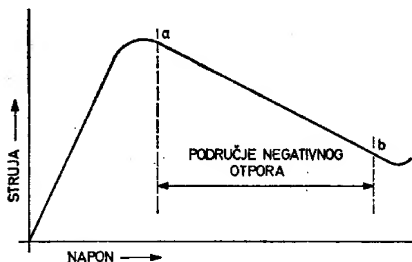
Manji dio mikrovalne energije, koja se izdvaja u drugi valovod, može ići istim smjerom kojim ide i energija u prvom valovodu. U suprotnom se smjeru valovi poništavaju.

Usmjereni sprežnik primjenjuje se i za »uzimanje uzorka« signala pri mikrovalnim mjerenjima.

GUNN-ova DIODA, AKTIVNI MIKROVALNI ELEMENT

J. B. Gunn, po kojem je dioda dobila ime, proučavao je šum *galijevog arsenida* u jakom električnom polju. Kad je polje prešlo kritičnu vrijednost, zamjetio je visokofrekventne oscilacije. Ovo slučajno otkriće (1964) dovelo je do razvoja poluvodičkog elementa koji je počeo zamjenjivati elektronske cijevi u mnogim mikrovalnim sklopovima.

Galijev arsenid je jedan od poluvodičkih materijala u kojem elektroni mogu biti u nekoliko stabilnih stanja sa različitim brzinama ili efektivnim masama. Ako poluvodič izložimo naponu koji se povećava od nule, raste jakost struje, a brzina elektrona proporcionalno raste. Materijal se ponaša slično otporniku. Kad se postigne *kritična vrijednost električnog polja*, brzina elektrona više ne može rasti, oni prelaze u »niže mobilno stanje« (negativan prirast brzine). To naglo smanjenje brzine uzrokuje stvaranje strujnog impulsa koji putuje poluvodičem. Kad impuls stigne na kraj poluvodiča stvara se novi impuls. Vremenski razmak među impulsima ovisi o debljini materijala. Ako se ona pravilno odabere *dobivamo mikrovalnu energiju željene frekvencije*. Za stvaranje oscilacija



Sl. 16-38. Strujno-naponska karakteristika Gunn-ove diode

mjerodavna je čitava masa poluvodičkog materijala, a ne samo P-N spoj kao što je to kod ostalih poluvodičkih elemenata.

Kritično električno polje iznosi oko 350 kV/m. Gunn-ova dioda za područje 10 GHz načinjena je od komada galijevog arsenida debljine 10 μm (10×10^{-6} m). Iz ova dva podatka može se izračunati da kritično polje nastupa ako je na poluvodiču napon oko 3,5 V. Daljim povećanjem napona dolazi do pada struje, drugim riječima, tu počinje *područje negativnog otpora* u kojem se mora nalaziti statička radna tačka diode ako želimo dobiti mikrovalne oscilacije. Proizvođači preporučuju da napon na diodi ne prelazi 8 do 9 V, pri čemu je struja oko 150 mA (za diode male snage). Izgled strujno-naponske karakteristike prikazan je na sl. 16-38.

Kada se Gunn dioda ugradi u mikrovalni resonator, strujni se impulsi pretvaraju u sinusoidalne titraje. Dioda je tada izložena jakom vanjskom izmjeničnom polju koje određuje period stvaranja impulsa. Drugim riječima, dioda neće oscilirati svojom prirodnom frekvencijom, koja je određena njenim dimenzijama. Frekvencija će ovisiti o *vlastitoj frekvenciji resonatora*. Ona može biti nešto veća ili nešto manja od prirodne frekvencije diode. Pored toga *frekvencija ovisi i o naponu napajanja* i može se mijenjati približno za ± 5 MHz. Ova činjenica je iskorištena

za postizanje *frekventne modulacije*. Istosmjernom naponu superponira se izmjenični NF napon.

Danas se Gunn diode izrađuju za vrlo široko područje, od 2 do 100 GHz i snage od 5 do 500 mW. Sa porastom snage nastaje problem kako odvoditi stvorenu toplinu jer je dioda malenih dimenzija.

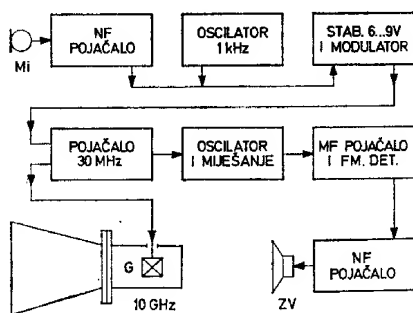
Impulsnom pobudom oscilatora moguće je dobiti snage koje su 2 do 10 puta veće nego pri kontinuiranom radu, ali u radio-amaterskoj tehnici se to ne primjenjuje.

PRIMOPREDAJNIK ZA 10 GHz

Blok-shema primopredajnika

Na blok-shemi, prikazanoj na sl. 16-39, mogu se vidjeti glavni dijelovi od kojih je načinjen primopredajnik za 10 GHz.

Gunn dioda dobije istosmjerni napon, potreban za dovođenje radne tačke u područje negativnog otpora. U stabilizatoru napona se na istosmjerni napon superponira pojačani NF signal iz mikrofona. Frekvencija Gunn oscilatora u određenoj mjeri ovisi i o privedenom naponu, a pošto se on mijenja u ritmu NF signala, jednostavno smo postigli frekventnu modulaciju. Tonski oscilator, koji daje signal frekvencije oko 1 kHz, poslužit će kod ugađanja uređaja i pomoći će



Sl. 16-39. Blok-shema primopredajnika za 10 GHz

korespondentu da nas »nađe« na bandu.

Na prijemu Gunn dioda radi kao samooscilirajući mikser. MF signal frekvencije 30 MHz vodimo na pojačalo. Nakon pojačanja signal se u stupnju za mješanje transponira na drugu međufrekkvenciju (10,7 MHz), pojačava u MF pojačalu i demodulira. Slijedi NF pojačalo sa zvučnikom ili slušalicama na izlazu.

Tehnika međufrekventne razlike

U prijemnicima na mikrovalnom području koristi se heterodinski princip koji poznajemo sa nižih frekvencija. Ulazni signal miješa se sa signalom iz lokalnog oscilatora a filterom se, najčešće, izdvaja razlika frekvencija. Na dužim valovima lokalni oscilator je poseban sklop, neovisan o odašiljačkom oscilatoru ili ako je zajednički onda se pri prelasku na odašiljanje njegova frekvencija pomakne za iznos međufrekkvencije u prijemniku.

Na mikrovalnom području nerentabilno je (i skup!) imati dva oscilatora (prijemni i odašiljački). Jednako bi bilo nespretno raditi sa jednim oscilatorom i mjenjati mu frekvenciju pri prelasku sa odašiljanja na prijem. Radi toga se koristi jedan oscilator, ali na istoj frekvenciji. Princip je prikazan na sl. 16-40.

Neka 1. primopredajnik ima svoj odašiljač ugođen na frekvenciju

10360 MHz, a međufrekkvencija je 30 MHz. Signal ćemo 2. primopredajnikom moći čuti ako njegov oscilator ima frekvenciju 10330 MHz. To će ujedno biti odašiljačka frekvencija 2. primopredajnika. Nas će sugovornik moći čuti *ukoliko njegov primopredajnik ima istu međufrekkvenciju kao naš.*

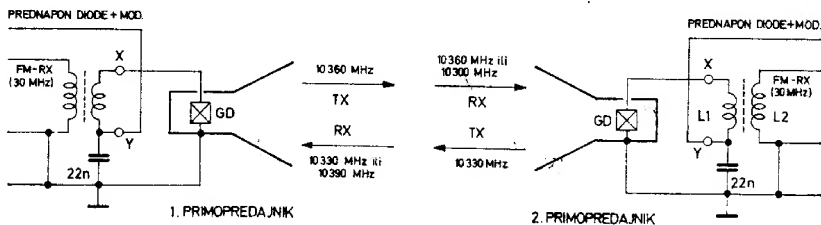
Ova razlika frekvencija pojedinih odašiljača omogućuje *dupleksni rad* tj. istovremeno odašiljanje i primanje pa razgovor nalikuje »telefonskom«.

Istina je, da se pri ovakvom načinu rada zauzima dvostruko veći opseg frekvencija, ali ne treba brinuti jer na raspolaganju stoji čak 250 MHz. Na sl. 16-40 naznačene su i zrcalne frekvencije koje prijemnik također može primiti jer ne postoje selektivni krugovi za njihovo potiskivanje.

Nužno je da obe stanice imaju identične međufrekkvencije. Zato su one *standardizirane* za pojedine tehnike rada. Za širokopojasni dupleksni rad međufrekkvencija je 30 MHz; za uskopojasni simpleks i dupleks, te za amatersku televiziju (ATV), simpleks i dupleks, 175 MHz.

Oscilator sa Gunn-ovom diodom

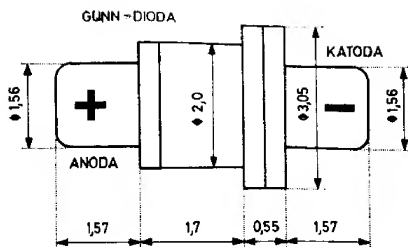
Gunn-ovu diodu nije lako pronaći na tržištu (pogotovo ne na domaćem, HI). Međutim, njena česta primjena u radio-amaterskoj tehnici, »primorala« je specijalizirane prodavaonice da je uvrste u svoj



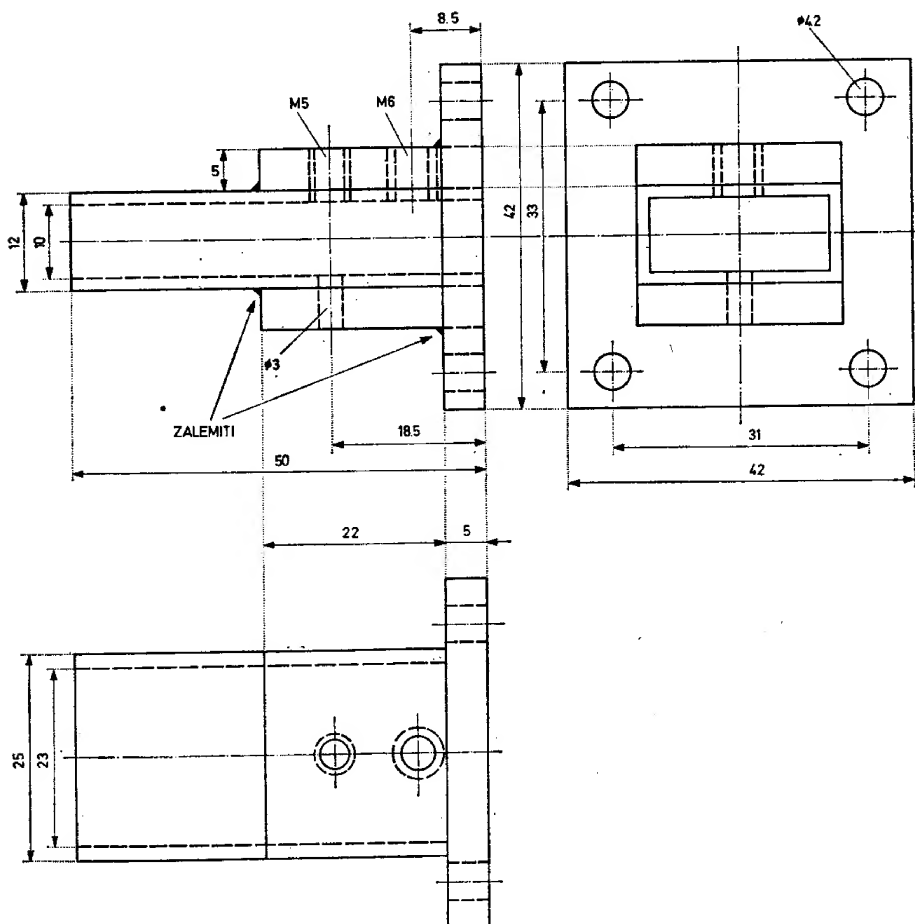
Sl. 16-40. Primjer mogućih radnih frekvencija kod održavanja veze po principu međufrekventne razlike. Vidi tekst

»asortiman«. Zato navodimo tri adrese gdje se mogu nabaviti: »CAB Elettronica s.a.s.«, Milano, Via Stadera 18, Italia; »Elecdis, Ruggaber GmbH & Co. KG«, Hertichstr. 41, 7250 Leonberg, BRD; »Townsend-Coates, Ltd«, Lonefard Road, Leicester, LE05 OHH, England.

Gunn diode, ovisno o snazi koju mogu dati i o proizvođaču, imaju različite oznake. Kod gradnje mikrovalnog oscilatora, koristit ćemo (zbog cijene, HI) diode manje sna-



Sl. 16-41. Dimenzije Gunn-ove diode male snage (CXY-11, do 15 mW). Mjere su u milimetrima.



Sl. 16-42. Nacrt dijela mikrovalnog resonatora. Mjere su u milimetrima. Vidi tekst

ge. U obzir dolaze CXY 11A (5 mW), CXY 11B (10 mW), CXY 11C (15 mW) a proizvođač je »Valvo«, »Mullard« i »Philips«; DC 1201A, B, C (AEI Semiconductors); GAO 10E-D (»Siemens«); TEO 5 (»Plessey«).

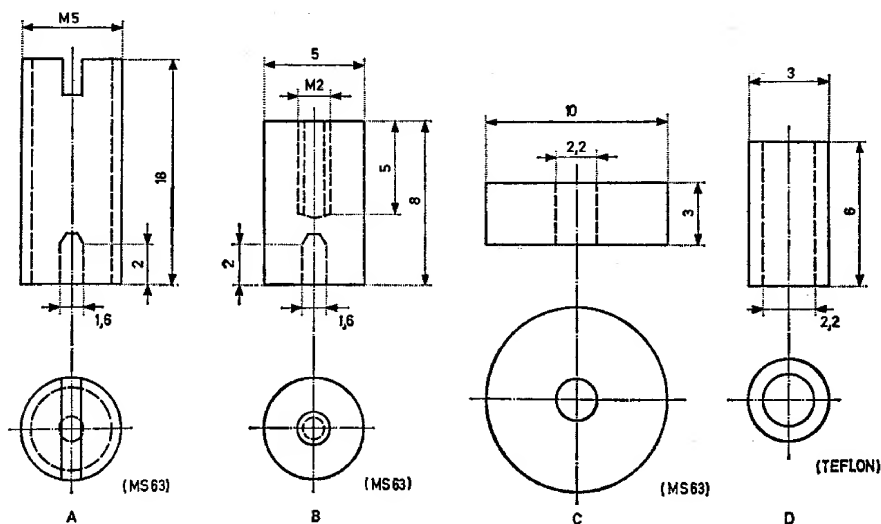
Sve navedene diode su u jednoj kućištu čije su dimenzije prikazane na sl. 16-41.

Da bismo dobili oscilator koji radi na željenoj frekvenciji, Gunn diodu moramo ugraditi u mikrovalni resonator. Njega ćemo načiniti od komada valovoda standardnih dimenzija (WG 16), a u nedostatku originalnog komada načinit ćemo ga sami.

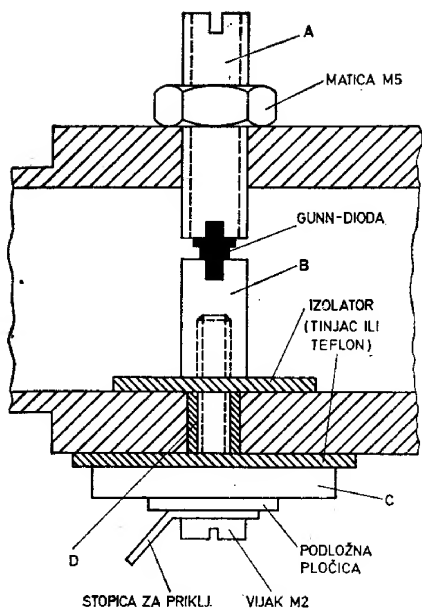
Nacrt resonatora prikazan je na sl. 16-42. Resonator je načinjen od mjedi (mesinga). Stjenke originalnog valovoda su pretanke. Zato treba na gornju i donju stranu valovoda zalemiti komade mjedi debljine 5 mm. To je neophodno jer bi narez u tankoj stjenki valovoda bio nesiguran. Rupa promjera 3 mm s jedne i narez M5 s druge strane valovoda služe za učvršćenje Gunn

diode. Treba voditi računa da ta dva otvora budu tačno u istoj osi jer bi u protivnom dioda mogla puknuti pri montiranju. U narez M6 stavlja se teflonski vijak koji služi za ugađanje frekvencije oscilatora. Na resonator je zalemljena prirubnica, također od mjedi debljine 5 mm. Dimenzije prirubnice su standardne da se oscilator može jednostavno spojiti (pomoću četiri vijka M4) sa ostalim dijelovima uređaja ili mjernim instrumentima.

Na sl. 16-43 prikazani su dijelovi za učvršćivanje Gunn diode u resonator. A je vijak M5 načinjen od mjedi. S gornje strane ima prerez za izvijlač, a s donje strane rupu $\varnothing 1,6$ mm u koju dolazi katoda diode. B je cilindrični komad mjedi sa narezom M2 na jednoj, a rupom $\varnothing 1,6$ mm na drugoj strani i služi kao kontakt za anodu. C je mjeđena podložna pločica, a D je teflonska cjevčica. Umjesto cjevčice može se upotrijebiti teflonska folija koja se dva puta uvije.



Sl. 16-43. Nacrt dijelova za učvršćenje Gunn-ove diode u resonator. Mjere su u milimetrima



Sl. 16-44. Montažna skica za učvršćenje Gunn-ove diode. Vidi tekst

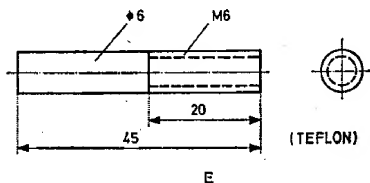
Način učvršćenja Gunn diode može se vidjeti na sl. 16-44. Vijkom M2 učvrsti se dio B tako da ne postoji galvanska veza sa resonatorom. To osiguravaju dvije izolacijske pločice od tinjca ili teflona debljine 0,05 do 0,1 mm. Dio C predstavlja jednu ploču kondenzatora koji služi za filtriranje napona napajanja (druga ploča je sam resonator). Na kontaktnu ušicu za priključivanje spaja se srednji vodič koaksijalnog kabela kojim dolazi istosmjerno napajanje diode a odlazi međufrekventni signal. Pokraj dijela C potrebno je izbušiti plitku rupu $\varnothing 1,8$ mm i, vijkom za lim, na resonator učvrstiti stopicu sa ušicom na koju se spaja oplet koaksijalnog kabela. Taj detalj na nacrtu nije prikazan ali je vidljiv na sl. 16-52. U rupu na dijelu B postavlja se anoda diode. Vijak A uvrće se dok potpuno ne obuhvati katodu Gunn diode. Maticom M5

fiksira se A da ne dođe do odvrtanja. Pri tome treba biti pažljiv jer je dioda osjetljiva na poprečno natezanje te može puknuti. Kontakt između diode i pojedinih dijelova mora biti kvalitetan da se osigura odvođenje topline koja se na njoj razvija (disipacija je oko 1 W a kontaktna površina prilično mala!). Treba voditi također računa o ispravnom polariziranju diode jer, u suprotnom, može doći do njenog uništenja.

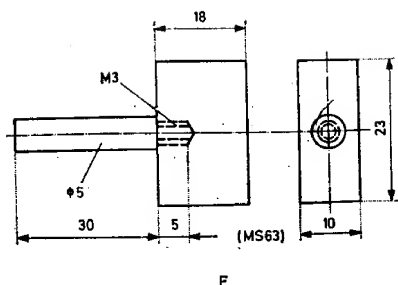
Nakon toga, može se pristupiti montiranju ostalih dijelova uređaja. Dimenzije teflonskog vijka za ugađanje frekvencije naznačene su na sl. 16-45.

Visokofrekventni kratkospojnik F je načinjen od četvrtastog komada mjedi sa narezom M3 na jednom kraju. Tu je učvršćen držač $\varnothing 5$ mm, sl. 16-46. Plohe kratkospojnika, koje moraju biti u čim boljem dodiru sa stjenkama resonatora, treba obraditi finim brusnim papirom. Loš kontakt može dovesti do gubitka snage oscilatora.

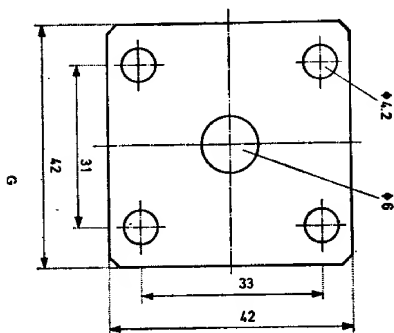
Na sl. 16-47 je nacrt »irisa« G. On je načinjen od mjedenog lima debljine 0,5 mm, a služi za prilagođanje oscilatora na antenu. Otvor u sredini »irisa« promjera je 6 mm i predstavlja kompromis između dva zahtjeva. Veći bi otvor omogućio dobivanje veće izlazne



Sl. 16-45. Dimenzije teflonskog vijka za ugađanje frekvencije mikrovalnog oscilatora. Mjere su u milimetrima



Sl. 16-46. Skica za izradu visokofrekventnog kratkospojnika. Vidi tekst. Mjere su u milimetrima



Sl. 16-47. Nacrt »iris« za prilagođenje mikrovalnog oscilatora na antenski valovod (mjere u milimetrima)

snage u anteni ali bi zbog toga bila narušena stabilnost oscilatora što je primarni zahtjev.

Da bi konstrukcija bila relativno jednostavna, koristit ćemo pi-

ramidalnu »rog«-antenu. Njen nacrt prikazan je na sl. 16-48.

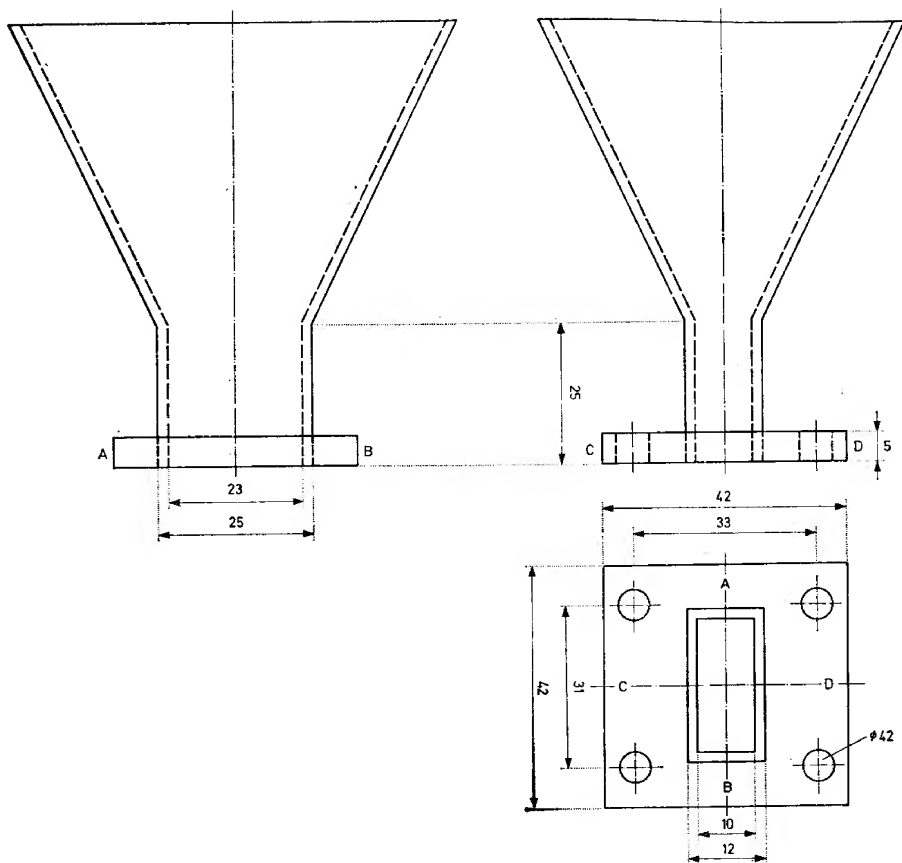
Na prirubnicu standardnih dimenzija, zalemljen je komad valovoda dužine 25 mm. Na njega se nadovezuju dijelovi načinjeni od mjedanog lima debljine 1 mm trapeznog oblika. Međusobno su spojeni tehnikom tvrdog lemljenja. U nedostatku dolazi u obzir i obično lemljenje, s tim da ostane čim manje tragova kositra (kalaja za lemljenje).

Na sl. 16-49 je plan rezanja lima za tri različita pojačanja antene. Što je pojačanje veće to je kut zračenja manji pa antenu treba s više pažnje usmjeriti prema sugovorniku. Tablica 16-5 sadrži dimenzije.

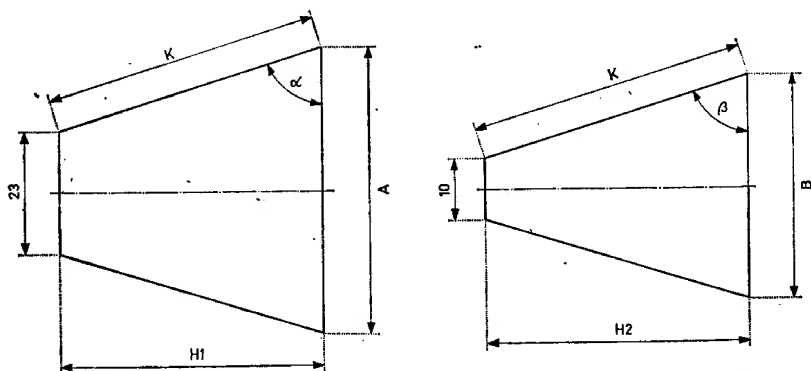
Sl. 16-50 prikazuje kompletan mikrovalni dio primopredajnika gdje se vide svi dijelovi, način njihova učvršćenja i povezivanja. Mikrovalni oscilator vidimo na sl. 16-51 i sl. 16-52. Resonator, iris i antena spojeni su sa četiri vijka M4 i pripadnim maticama. Tim istim vijcima, na strani antene, može se učvrstiti aluminijski L-profil koji se s donje strane prikladno montira na stabilan stalak. Za tu svrhu, uspješno se može primijeniti fotografski stalak, sl. 16-53, pogotovo ako ima mehanizam za rotiranje u horizontalnoj ravnini, za usmjeravanje antene.

Tablica 16-5. Dimenzije za rezanje lima prema sl. 16-49

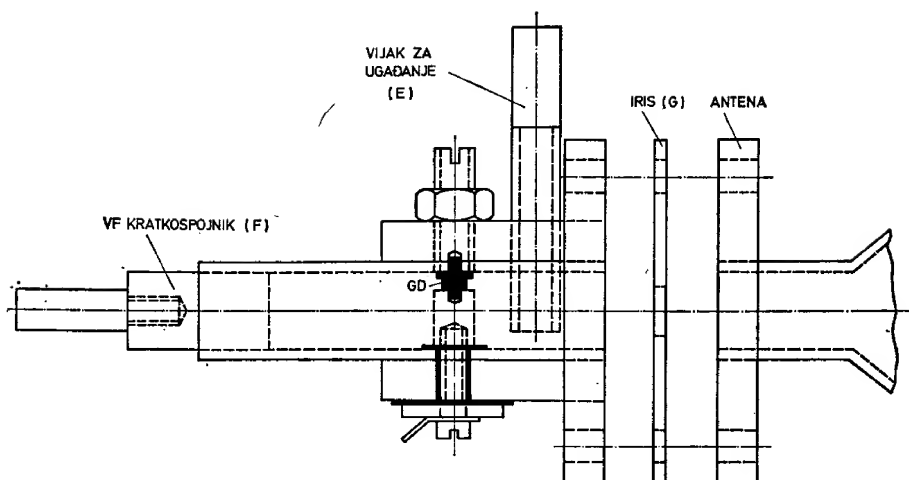
Antensko pojačanje (dB)	A (mm)	B (mm)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	α (°)	β (°)	K (mm)
15	76,5	56,7	43,4	45,3	58,2	62,8	50,9
20	136	100,8	158,2	161,8	70,3	74,4	168,0
25	241,9	179,2	541,1	545,6	78,6	81,2	552,1



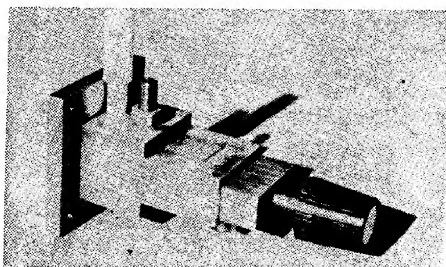
Sl. 16-48. Nacrt piramidalne antene, njenog valovoda i prirubnice. Označene mjere su u milimetrima. Neoznačene dimenzije napisane su u tablici 16-5



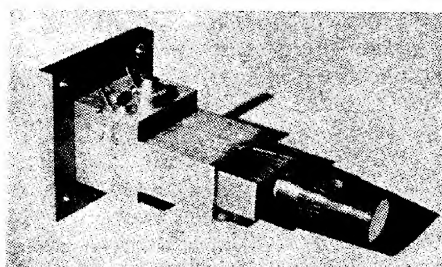
Sl. 16-49. Plan rezanja lima za piramidalne antene. Vidi i tablicu 16-5



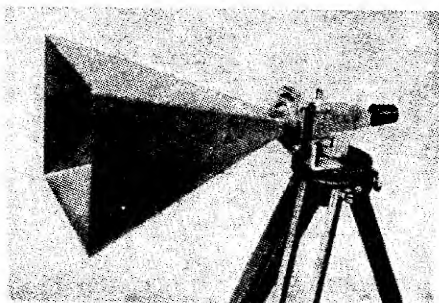
Sl. 16-50. Montažni nacrt svih dijelova koji sačinjavaju mikrovalni dio primopredajnika za 10 GHz



Sl. 16-51. Pogled na gornju stranu mikrovalnog oscilatora sa teflonskim vijkom za ugađanje frekvencije, vijkom za učvršćenje Gunn-ove diode i visokofrekventnim kratkospojnikom. Dugme na ručici kratkospojnika služi za hvatanje prilikom ugađanja



Sl. 16-52. Isti mikrovalni oscilator sa donje strane. Ušice za lemljenje koje se vide na snimci služe za priključak koaksijalnog kabela za vezu sa međufrekventnim dijelom primopredajnika



Sl. 16-53. Kompletan mikrovalni dio primopredajnika za 10 GHz, učvršćen na tronožnom stalku

Sklop za napajanje i modulaciju

Uloga ovog sklopa je pojačanje NF signala iz mikrofona i njegovo superponiranje stabiliziranom istosmjernom naponu koji određuje radnu tačku Gunn diode. Shema sklopa je na sl. 16-54.

Tranzistor TR_1 radi u sklopu NF pojačala na čiji je ulaz spojen dinamički mikrofoni M_i . Sa njegovog kolektora signal ide na potenciometar P_1 . Pomoću njega se odabire veličina NF napona u tački B , a time i veličina *frekvencijske devijacije oscilatora*. Devijacija ovisi o radnoj tački diode i o Q-faktoru resonatora. Podešavamo je u toku prvih veza uz pomoć korespondenata. Može se očekivati devijacija ± 50 kHz kod NF napona efektivne vrijednosti 0,2 V (u tački B).

Tranzistori TR_2 i TR_3 rade u sklopu *astabilnog multivibratora frekvencije oko 1 kHz*. On će nam omogućiti održavanje veza telegrafijom F_1 jer je u emiteru tipkalo Ti kojim prekidamo rad multivibratora. Uključivanjem prekidača Pr , Gunn oscilator je moduliran konstantnim tonom što sugovorniku znatno olakšava *pronalaženje našeg signala »na bandu«* i optimalno *ugađanje i usmjeravanje* antene njegovog uređaja.

Operaciono pojačalo IL 741 radi u sklopu stabilizatora napona potrebnog za osiguranje statičke rad-

ne tačke Gunn diode. Taj se napon podešava potenciometrom P_2 . Tu se NF napon zbraja sa referentnim naponom Zenerove diode i pojačava tranzistorom TR_4 , na koji je *potrebno montirati mali hladnjak*.

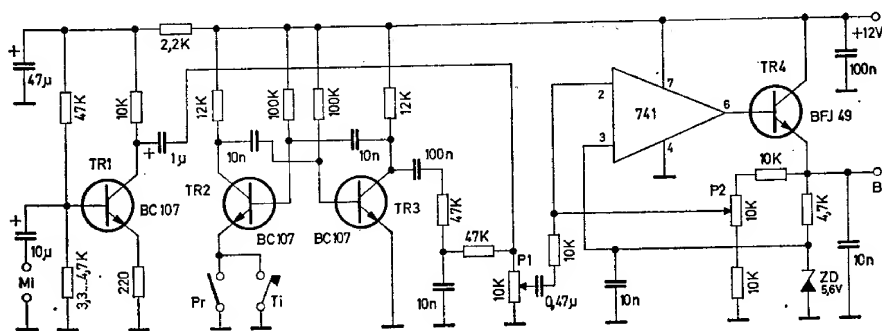
Izlazni napon (tačka *B*) može se mijenjati u granicama od 4 do 10 V. On se vodi na Gunn diodu preko zavojnice L_1 u međufrekventnom pojačalu (vidi sl. 16-55).

Prije spajanja sa Gunn diodom, potrebno je ispitati rad sklopa priključivanjem otpornika od $50\ \Omega$ između izlaza B i mase. Uz napon od 8 V, podešenih potencijometrom P_2 , struja kroz otpornik mora biti 160 mA.

Sklopu za napajanje treba posvetiti određenu pažnju da izlazni napon ne bude veći od 10 V jer bi mogao uništiti Gunn diodu.

Međufrekventno pojačalo

Shema međufrekventnog pojačala je na sl. 16-55. MF signal dolazi koaksijalnim kablom, preko ulaza X , na zavojnicu L_1 . Ulaz Y spojen je na sklop za napajanje i modulaciju (izlaz B) te se kroz istu zavojnicu napaja Gunn dioda istosmjernom strujom (vidi sl. 16-40). Titrajni krugovi, koje čine zavojnice L_2 i L_3 sa pripadnim kondenzatorima, ugođeni su na frekvenciju 30 MHz. MOS-FET (40673) osigura-



Sl. 16-54. Shema modulacijskog pojačala, tonskog oscilatora i stabilizatora za napajanje Gunn-ove diode. Vidi tekst

Tablica 16-6. Podaci o zavojnicama u MF pojačalu za primopredajnik na 10 GHz (sl. 16-55)

Zavojnica	Broj zavoja	Debljina žice (mm)	Napomena
L_1	3	0,3; CuL	Na tijelu promjera 5 mm*
L_2	19		
L_3	19	0,3; CuL	Na tijelu promjera 5 mm*
L_4	3		
L_5	15	0,3; CuL	Na tijelu promjera 5 mm*
L_6	19	0,3; CuL	Na tijelu promjera 5 mm*
L_7	5		
L_8	12	0,3; CuL	Na tijelu promjera 5 mm*
VFP	—	VF prigušnica na feritnoj jezgri (VK 200)	

*) Sa feromagnetskom jezgricom za ugađanje.

va pojačanje ove prve međufrekvencije oko 20 dB. Preko zavojnice L_4 prenosi se MF signal na stupanj za miješanje (SO42P) koji u sebi sadrži i lokalni oscilator. Njegova frekvencija je kontrolirana overtonskim kvarcovim kristalom frekvencije 40,7 MHz. Zavojnica L_5 i kondenzator od 82 pF čine titrajni krug koji osigurava da kvarc oscilira na željenoj frekvenciji. Ukoliko se ne može nabaviti odgovarajući kvarc, oscilator se može načiniti i bez njega uz preinake, u skladu sa preporukama proizvođača integriranog sklopa SO42P.

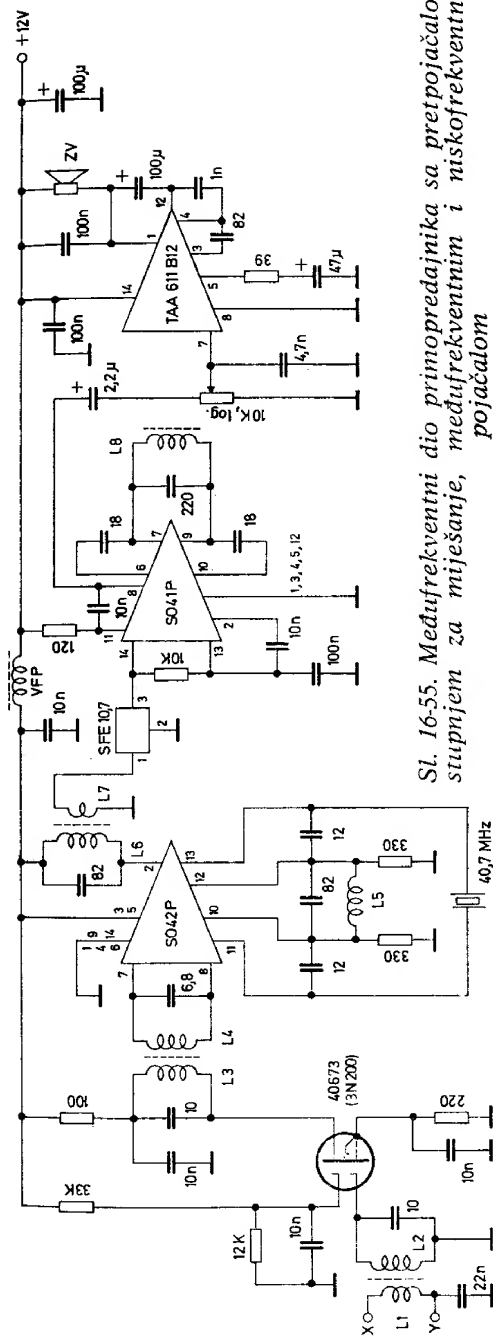
Signal *druge međufrekvencije* od 10,7 MHz izdvaja se titrajnim krugom koji čine zavojnica L_6 i kondenzator od 82 pF i, preko L_7 , vodi na keramički filter SFE 10,7. On određuje selektivnost prijemnika koja iznosi oko 250 kHz. Nakon filtera slijedi pojačalo sa integriranim sklopom SO41P. On ograničuje amplitudu i demodulira FM signal pa na nožici 8 dobivamo NF signal, koji se preko elektrolitskog kondenzatora od 2,2 μ F i potencijometra za reguliranje glasnoće, do-

vodi na integrirano NF pojačalo TAA 611B-12. U niskoomskom zvučniku možemo dobiti snagu do 2 W. Treba predvidjeti utičnicu za slušalice koja isključuje zvučnik. To je neophodno pri dupleksnom načinu rada kako ne bi došlo do mikrofonijske.

Umjesto integriranog sklopa SO41P može se upotrebiti bilo koji sličan, npr. TBA120S, CA3089E, TDA1200, TDA1047 itd., pri čemu treba voditi računa o rasporedu nožica jer *nije isti* za sve sklopove. Također, postoji više mogućih zamjena za integrirano NF pojačalo (vidi u 7. poglavlju).

Uključivanje i ugađanje uređaja

Najveći problem pri ugađanju mikrovalnog dijela uređaja predstavlja kod radio-amatera nedostatak mjerne opreme za to valno područje. Prema knjizi »RSGB: VHF-UHF Manual« može se za tu svrhu načiniti apsorpcioni valomjer i kristalni detektor. Od najveće koristi bit će već sagrađeni, ispravan



Sl. 16-55. Međufrekventni dio primopredajnika sa pretpojačalom, stupnjem za miješanje, međufrekventnim i niskofrekventnim pojačalom

primopredajnik (možda i tvornički uređaj) našeg korespondenta!

Nakon provjere ispravnosti sklopa za napajanje, treba podesiti napon od 7 V na njegovom izlazu i uz kontrolu jakosti struje, priključiti Gunn oscilator. *Napon se ne smije postepeno povećavati od 0 V na više jer pri manjim naponima kroz diodu teče znatno veća struja (!) što je može uništiti. O ovome treba posebno voditi računa ako se uređaj napaja iz akumulatora jer se pri njegovom praznjenju, napon na diodi može smanjiti.*

Pri naponu od 7 V struja kroz diodu ne smije prelaziti 200 mA. Celo VF kratkospojnika treba postaviti u resonator, nekoliko milimetara od Gunn diode. Pri postepenom povećavanju napona struja mora padati, sve dok oscilator ne »zaoscilira« pri svakom uključivanju napona napajanja. VF kratkospojnik nema veliki utjecaj na frekvenciju ali ima *veliki utjecaj na snagu* te ga treba pomicati dok se ne postigne njen maksimum. U tom položaju kratkospojnik treba na neki način učvrstiti ili na mjestu njegovog čela odrezati valovod i zatvoriti ga pločicom od mjedi.

Frekvencija oscilatora određena je razmakom između Gunn diode i irisa. Ugađanje frekvencije postiže se uvrtnjem teflonskog vijka u resonator, pri čemu se frekvencija povećava otprilike 100 MHz za svaki okretaj. Moguće je tako mijenjati frekvenciju u području od nekoliko stotina MHz. (Primjenom metalog vijka, uvrtnjem u resonator frekvencija se smanjuje).

U slučaju da je frekvencija Gunn oscilatora *preniska* i da ju ne možemo podesiti vijkom, potrebno je smanjiti razmak između irisa i diode. To ćemo postići *stanjivanjem* približnice brusnim papirom. Ako je frekvencija *previsoka*, potrebno je između irisa i približnice ubaciti *mjedeni lim* istog oblika, kakav ima približnica, sa četvrtastim otvorom čije su dimenzije jednake unutarnjim dimenzijama ot-

vora resonatora. Time smo povećali dužinu resonatora i snizili frekvenciju. U oba slučaja promjena frekvencije iznosi oko 300 MHz po milimetru promjene udaljenosti od irisa do diode.

Pri ugađanju, a kasnije i pri radu, treba voditi računa da Gunn oscilator ne bude izložen suncu, jer će njegovo zagrijavanje dovesti do promjene frekvencije čak za 150 kHz/°C. Također je poželjno da u prostoru od 20 m uokrug ne bude objekata (zgrada, drveća) od kojih može doći do refleksije, a time i do pojave fadinga.

Obzirom na malu izlaznu snagu, oko 5 mW, ne postoji opasnost da se nađemo izloženi zračenju većem od tzv. maksimalno dopuštene gustoće mikrovalne radijacijske energije od 10 mW/cm².

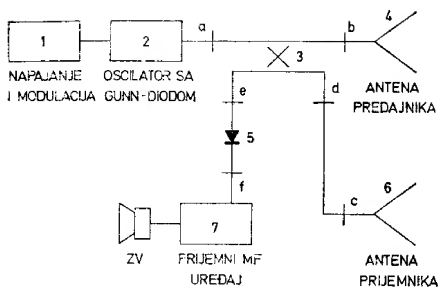
Mogućnosti poboljšanja primopredajnika

Već je ranije navedeno da Gunn dioda radi i kao oscilator i kao mikser. U takvom režimu dioda nije kvalitetan mikser jer faktor šuma iznosi oko 25 dB. Zbog toga se s ovakvim uređajem mogu održavati relativno kratke veze (oko 20 km).

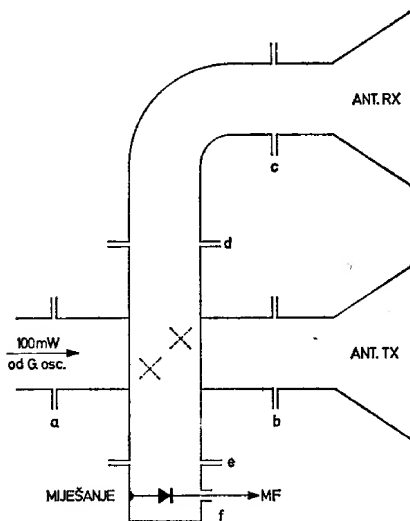
Prvo poboljšanje bit će ostvareno ugradnjom posebne malošumne mješalice diode. Blok shema takvog primopredajnika je na sl. 16-56.

Sklop za napajanje (1) osigurava Gunn oscilatoru (2) uvjete za osciliranje. Mikrovalna energija prolazi kroz usmjereni sprežnik (3) i emitira se pomoću odašiljačke antene (4). Pomoću usmjerenog spreznika izdvaja se manji dio energije oscilatora i usmjerava prema diodi koja radi kao mikser (5). Na nju istovremeno dolazi i signal sa prijemne antene (6), te dobivamo međufrekventni signal. On se pojačava i demodulira u prijemnom MF uređaju (7).

Na sl. 16-57 vidimo kako su spojeni pojedini dijelovi mikrovalnog sklopa ovakvog uređaja.



Sl. 16-56. Blok shema poboljšane verzije primopredajnika za 10 GHz. Opis u tekstu



Sl. 16-57. Principijelna skica mikrovalnog dijela u primopredajniku, prema shemi na sl. 16-56

Nedostatak ovakvog rješenja je potreba za dvjema antenama i relativno dugačkim valovodnim sekcijama.

Jednostavnija konfiguracija ostvarit će se ako se u isti resonator, u kojem je i Gunn dioda, na pogodno mjesto ugradi mješalica dioda.

U isti resonator može se staviti i varaktorska dioda. Pomoću nje se oscilator može elektronički ugađati na željenu frekvenciju. To

stvara mogućnost za automatsku kontrolu frekvencije i automatsko pretraživanje banda. Za konstrukcijske detalje treba pogledati časopis »DUBUS«, br. 2/1978. i dalje.

Postoji i gotov tvornički modul (komercijalni naziv im je »Gunnplexer«) sa oznakom MA 87127. On u jednom resonatoru ima Gunn diodu, varaktor diodu, miješačku diodu i cirkulator. Snaga je od 10 do 40 mW a šumni broj prijemnog dijela 12 dB.

Daljnje poboljšanje mikrovalnog uređaja moguće je primjenom

antene velikog pojačanja. To je antena s paraboličnim reflektorom. Reflektor promjera 50 cm osigurava pojačanje oko 30 dB, pri čemu je kut zračenja $\pm 4^\circ$. Materijal od kojeg se može načiniti je aluminij ili bakar. Mnogo je praktičnije parabolu načiniti od smole (uz prethodno izrađeni kalup) i oblijepiti je vodljivom alu-folijom.

Znatno poboljšanje omjera signal/šum može se ostvariti prelaskom na uskopojasne emisije (CW i SSB) ali to zahtjeva znatna materijalna i novčana sredstva.

ISPITIVANJE I KONTROLA RADA PREDAJNIKA

POTREBA ISPITIVANJA I KONTROLE

Ispitivanje predajnika ima za cilj da se utvrdi kako radi novi predajnik, neki predajnik koji je bio popravljen ili je u njemu bilo nešto preinačeno. U takvim slučajevima svakako treba da utvrdimo da li predajnik radi kako bi trebalo, da li se s njim može postići ono što se očekuje.

Kontrola rada predajnika je svakidašnje ispitivanje, za vrijeme svake emisije, sa zadatkom da se stalno provjerava ispravnost rada, da se odmah utvrdi svaki mogući defekt i da se osigura nesmetan rad u okviru propisa. Ovo se osobito tiče kontrole frekvencije koja mora biti što preciznija što je radna frekvencija bliža krajevima »banda«. Kako vidimo, nema bitne tehničke razlike između »kontrole rada« i »ispitivanja«. Zato se rad predajnika najčešće kontrolira na jednak način na koji ga se i ispituje.

Ovdje nećemo govoriti o mjerenjima napona i frekvencije, jer je o tome govora u drugim poglavljima ove knjige. U ovom poglavlju će biti obrađene uglavnom one metode kojima je moguće provjeriti kvalitetu emitiranih telegrafskih (CW) i fone (AM, SSB i FM) signala.

Istina je, nažalost, da mnogi radio-amateri ne ispituju svoje uređaje i ne kontroliraju njihov rad na tehnički ispravan način, već se najčešće zadovoljavaju s time da, održavajući veze, pitaju korespondente i od njih traže »ocjene« sig-

nala. To ne može dati ispravnu sliku. Redovito su sve takve ocjene, u najmanju ruku, »pristojne« i »uljudne«. I tačan RPRT je samo vrlo štura informacija; zato daleko više vrijedi ono što o svom uređaju saznamo ispitujući, kontrolirajući i mjereći nego svi odlični raporti koje primamo za vrijeme cijele amaterske »karijere«. Druga je stvar ako nam neki korespondent dade *lošu* ocjenu kvalitete signala. Tada se treba zamisliti i odmah ispitati što je na stvari, jer mnogi će dati lošu ocjenu tek onda kad je signal *veoma* loš i kad je već gotovo nepodnošljiv.

SREDSTVA ZA ISPITIVANJE PREDAJNIKA

Najjednostavnija sredstva za ispitivanje predajnika su, nema sumnje, ona s kojima su se amateri služili prije 40 i više godina kad su raspolagali samo s jednostavnim uređajima. Mala žaruljica (sijalica) kakva redovito služi u džepnim baterijskim svjetiljkama ili za rasvjetu skale u radio-aparaturama, može (prema sl. 17-1a) poslužiti za utvrđivanje da li neki jači oscilator radi ili ne. U tu svrhu treba na žaruljicu zalemiti petlju P od komadića *izolirane* (!) žice. Ako se ta petlja približi zavojnici titrajnog kruga nekog, ne preslabog oscilatora, žaruljica će zasvijetliti.

Poneki od radio-amatera neće da se rastanu od male tinjalice i stalno je nose po džepovima. Takva mala tinjalica (sl. 17-1b), može

poslužiti kao vrlo dobar indikator visokofrekventnih napona. Dovoljno ju je samo približiti visokofrekventno »vrućim« tačkama (V) u nekom predajniku i ona odmah zasvijetli. Ako tinjalicu približimo tačkama na kojima nema visokofrekventnog napona, koje su »visokofrekventno hladne« (H), ona ne svijetli. Tinjalica također često ne svijetli ako je približimo antenskoj priključnici, osobito kod slabijih predajnika koji imaju izlaz niske impedancije.

Žaruljica i tinjalica nisu nikakvi mjerni instrumenti, ali mogu dati vrijedne informacije o stanju predajnika. Njihova upotreba međutim, nije bez opasnosti. Ima u predajnicima mnogo tačaka koje su za visoku frekvenciju »hladne«, tj. bez visokofrekventnog napona, ali zato može na istim tačkama biti visok istosmjerni napon. Zato oprez! Ne bi trebalo da ovakve indikatore držimo u ruci. Bolje je da ih stavimo na oduži držak od izolatora, na štapić juvidura ili slično.

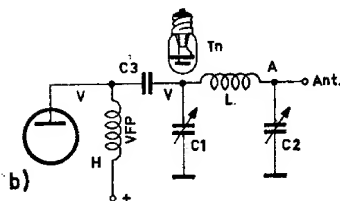
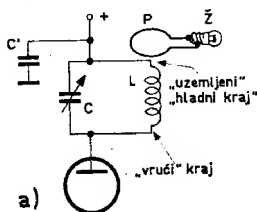
Ni žaruljica ni tinjalica ne mogu poslužiti kod tranzistorskih uređaja. Tamo su naponi za njih preniski. Tu su potrebni osjetljivi uređaji; najbolje *apsorpcioni valomjer* ili pouzdani *grid-dip-meter* (GDM). Ovi su opisani u poglavlju o mjernim instrumentima i mjerenjima, kao i način određivanja izlazne snage (*OUTPUT*).

Sa razvojem tehnike postaju i tehnička sredstva bolja, ali također

zamršenija. Za kontrolu rada amplitudno moduliranog predajnika nekad smo se zadovoljavali jednostavnim *monitorom modulacije*. Možemo ga upotrebiti i danas iako znamo da je osciloskopsko ispitivanje AM signala znatno pouzdanije.

Dovoljno je sjesti pokraj kratkovalnog prijemnika i poslušati što se događa u kratkovalnim »fone bandovima«. Amplitudno moduliranih signala može se naći samo izuzetno, uglavnom samo u »građanskom opsegu« (CB), oko 27 MHz. Sve je krucato SSB signalima u svako doba. Ova novija fonijska tehnika ima mnoga neuporedivo bolja svojstva, ali je zamršenija od AM tehnike. Čak je potrebno da i sam operator ima više tehničkog znanja, ako želi da potpuno iskoristi sve mogućnosti koje mu SSB tehnika nudi. To mnogostruko više vrijedi za onoga koji želi da sam gradi SSB uređaje.

Tko ima gotov, tvornički SSB uređaj, može njegov rad neprekidno kontrolirati pomoću instrumenta i pomoćnih uređaja koji se redovito nalaze u takvim aparatima. Ako dođe do kvara pa uređaj treba popravljati ili mijenjati neke dijelove, onda se rad SSB uređaja mora nekako ispitati, najbolje pomoću osciloskopa. Zato ćemo ovdje, uz ostalo, opisati najvažnije metode takvog ispitivanja.



Sl. 17-1. Najjednostavniji pribor za ispitivanje predajnika: a) mala žaruljica (sijalica); b) tinjalica

ISPITIVANJE I KONTROLA TELEGRAFIJE

Najjednostavniji način na koji možemo ispitati kako zvuče telegrafski znakovi našeg predajnika sastoji se u tome da s nekim prijateljem, radio-amaterom, zamijenimo predajnike. Naš predajnik za jedan dan premjestimo k njemu, a njegov k nama. Ukoliko je njegov QTH udaljen jedan do dva kilometra, tim bolje, ali odgovara svaka udaljenost iz koje će signali dolaziti sa S9.

Najprije ćemo se upoznati s načinom rada njegovog predajnika, uspostaviti ćemo vezu i zamoliti ga da našim predajnikom (koji je kod njega) emitira jednoličan, polagan niz »crta« s razmakom jednakog trajanja među njima, kao npr. »T« uz tempo od dvadesetak znakova u minuti. Uz najmanju moguću selektivnost našeg prijemnika, smanjivši i njegovu VF osjetljivost da se čuju lijepi, jasni i glasni zvukovi, bez izobličenja, okrećimo *polagano* skalu. Ton postaje sve viši da se konačno sasvim izgubi. Jednako prema višim i prema nižim frekvencijama. Slijedeći sluhom poznati tempo kojim slijede »orte« jedna za drugom, lako ćemo zapaziti »kliksove«, ako oni postoje, bilo na početku, bilo na završetku znaka.

Pravilan i snažan telegrafski signal može se na svom početku pojaviti uz istovremeni blagi »udarac«, također mu može i završetak biti »oštar«, ali se ne smije čuti nikakvo praskanje. Za vrijeme trajanja signala visina tona mora biti stalna, bez traga »cvrkutanja« ili brujanja.

Iza toga neka nam prijatelj emitira slijed brzih »tačkica«. Moramo ih jasno čuti; ne smiju se »stapati«. Pri tome ćemo povećati selektivnost prijemnika. Ako je i ovaj »test« dobro uspio, možemo biti bez brige. Naš predajnik dobro emitira telegrafske znakove kod svih brzina koje se mogu postići ručnim tipkalom (tasterom).

Nema li u blizini amatera s kojim bismo mogli na takav način zamijeniti predajnike, moramo sami načiniti sve pokuse. Budući da će predajnik i prijemnik u takvom slučaju biti u istoj prostoriji, moramo spriječiti sve što bi moglo smetati pravilnom zaključivanju. Kao prvo treba spriječiti pojavu iskrenja na tipkalu koje bi moglo dati utisak da telegrafski znakovi imaju »kliksove«. O tome kako se uklanjanje ovakvo iskrenje bilo je ranije govora, u poglavlju o kratkovalnim predajnicima.

Kad nam je uspjelo ukloniti »praskanje« koje dolazi od iskara na tipkalu, prekinut ćemo spoj prijemnika sa antenom, antensku priključnicu kratko spojiti sa šasijom, smanjiti VF osjetljivost što je više moguće i na skali potražiti signale vlastitog predajnika. Oni se smiju čuti sasvim tiho, ako je dovod struje iz električne mreže u predajniku i u prijemniku uredno blokiran, kako to treba da bude. Ako su signali u prijemniku pre jaki, znak je da oni u prijemnik ulaze kroz vodove električne mreže, što treba izbjeći dodatkom odgovarajućih kondenzatora i, ako treba, visokofrekventnih prigušnica u oba uređaja, u prijemnik i u predajnik, direktno u vodove izmjenične struje koja služi za pogon. Ako je to u redu, signale vlastitog predajnika ćemo čuti, uz *isključen* BFO, samo kao slab šum. Kada BFO ponovno uključimo, opet ćemo jasno čuti interferentni ton.

Poslije ovoga, i *samo onda* ako je sve ovako uspjelo, možemo ispitati kvalitetu telegrafskih znakova na onaj način koji smo gore opisali. Ako pri tome, slušajući sa *obje strane* »nule« našeg BFO-a, kod različitih visina tona, ne budemo čuli ni na početku ni na kraju telegrafske »crte« nikakav »klik«, onda je zaista sve u redu. Ipak, da još jedamput upozorimo, ne zaboravite se prethodno osigurati od iskara u tipkalu!

Ovakvo provjeravanje je mnogo pouzdanije od pohvala koje možda

čujemo za vrijeme održavanja veze. Ako nam kažu da su signali loši, onda — za svaki slučaj — provjerimo sve ponovno!

U poglavlju o kratkovalnim predajnicima ima nekoliko primjera osciloskopskog ispitivanja telegrafije.

Druga je stvar *kontrola emitiranih znakova* kojoj nije svrha da provjerava rad uređaja, već rad samog operatora. Tome služe tzv. *monitori grafije* koje smo ranije opisali. Pomoću njih može svaki operator pratiti svoju emisiju i tako kontrolirati sam svoje »kucanje«.

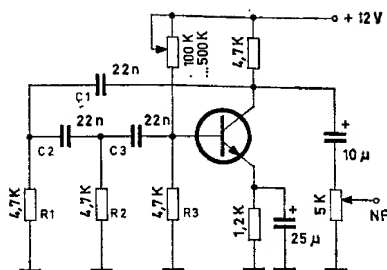
OSCILOSKOPSKO ISPITIVANJE AMPLITUDNO MODULIRANIH PREDAJNIKA

Pribor i uređaj za ispitivanje AM

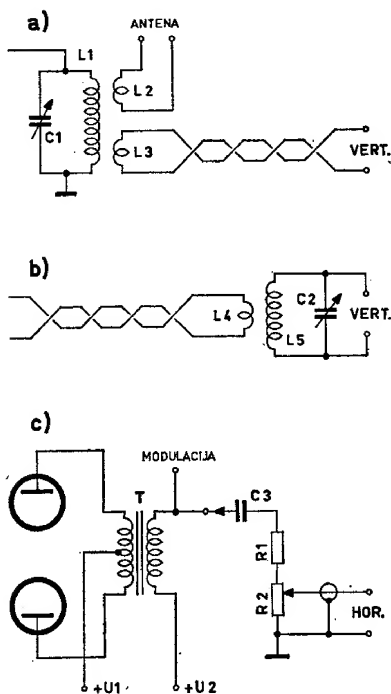
Osim samog osciloskopa za ispitivanje AM predajnika potreban je i drugi pribor. Kao prvo trebamo stabilan niskofrekventni generator koji može dati čist, sinusoidalni NF signal frekvencije oko 1000 Hz. Možemo ga i sami načiniti na različite načine.

Na sl. 17-2 je shema iskušano NF oscilatora. Frekvenciju određuju tri kondenzatora (C_1 , C_2 , C_3) i tri otpornika (R_1 , R_2 , R_3) u RC-mreži. Važno je da pojačanje ne bude preveliko. Zato treba pobuđivanje oscilatora ugoditi na najpovoljniju vrijednost pomoću potenciometra u djelatniku napona za istosmjerno napajanje baze tranzistora. Tada će i osciloskopska kontrola izlaznog NF napona pokazati da je on sinusoidalni. Izlazni NF napon može se mijenjati potenciometrom.

Uređaj za osciloskopsko ispitivanje može biti vrlo jednostavan. Na priključke za vertikalni otklon osciloskopa treba dovesti modulirani visokofrekventni napon. Taj se može uzeti, prema sl. 17-3a, ma-



Sl. 17-2. Tranzistorski NF oscilator sa RC mrežom za pomicanje faze



Sl. 17-3. Metode priključivanja osciloskopa na AM predajnik u svrhu ispitivanja

lom zavojnicom L_3 koja ima nekoliko zavoja i koju stavimo u blizinu izlaznog titrajnog kruga ispitivanog predajnika, L_1C_1 . Ovaj titrajni krug mora biti opterećen na normalan način antenom ili, bolje, nekom lažnom (»umjetnom«, »veš-

tačkom») antenom odgovarajućeg otpora, priključenom umjesto prave antene, npr. na krajeve antenske zavojnice L_2 .

Ako bi visokofrekventni napon bio premalen za dovoljan otklon na ekranu osciloskopa, može se neposredno uz osciloskopske vertikalne priključnice staviti neki pomoćni titrajni krug kojemu je zavojnica L_3 preko L_4 i »linka« (u obliku upredene dvostruke žice), sl. 17-3b, u vezi sa L_5 . Promjenljivim kondenzatorom može se taj titrajni krug dovesti po volji blizu resonancije i na taj način u određenim granicama postići povećanje i prilagođenje vertikalne amplitude.

Na priključnice za horizontalni otklon osciloskopa dovodi se niskofrekventni modulacijski napon sa samog izlaza modulatora, prema sl. 17-3c. Kondenzator C_3 ima jedinu zadaću da spriječi prolaz istosmjernoj struji kroz otpornike R_1 i R_2 . Njegov kapacitet mora biti velik, barem 50 nF, a mora biti građen za radni napon koji je najmanje dva do tri puta tolik kao istosmjerni pogonski napon predajnika, U_2 . Ako nemamo takav kondenzator, stavit ćemo dva ili tri kondenzatora za niži radni napon u seriju. Razdjelnik napona R_1/R_2 treba odabrati tako da se promjenom R_2 može postići dovoljno velik horizontalni otklon na ekranu osciloskopa.

Trapez i trokut modulacije

Kad smo osciloskop priključili na opisani način, na modulator umjesto mikrofona spojimo jedan od sinusoidalnih niskofrekventnih oscilatora. Treba paziti da amplituda NF signala ne bude prevelika. Ona mora odgovarati veličini napona koje inače daje upotrebljeni mikrofoni. Na samom osciloskopu treba *isključiti* njegovu vremensku bazu tako da svijetlu tačkicu na ekranu pomiču samo oni naponi koji direktno dolaze od predajnika

i modulatora. Na ekranu osciloskopa će se pojaviti *trapez* modulacije. Vidimo ga na sl. 17-4a. Vertikalne stranice trapeza imaju različite dužine i daju nam mogućnost da iz ovakve osciloskopske slike odredimo procent modulacije. Izmjerimo dužinu veće vertikalne stranice trapeza. To neka je A milimetara. Zatim izmjerimo dužinu manje vertikalne stranice. Ona neka ima B milimetara. Procent modulacije možemo sada izračunati pomoću formule:

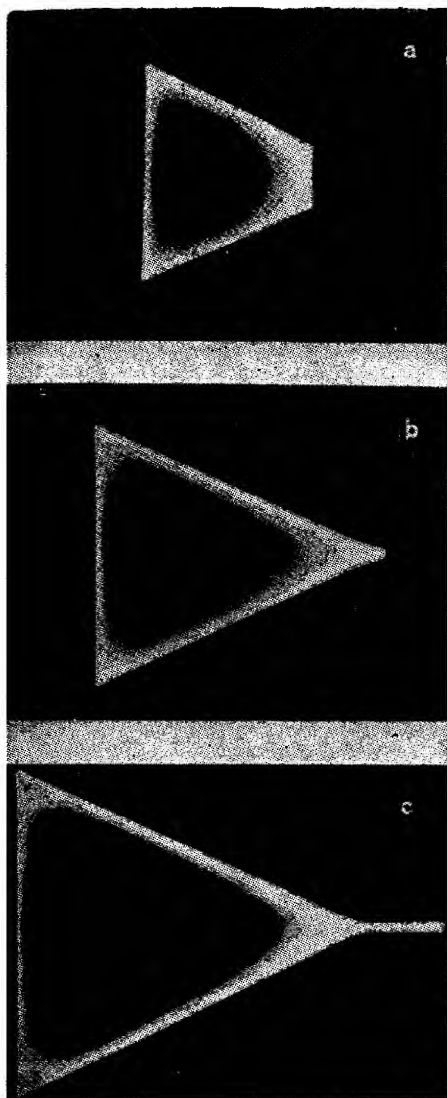
$$m(\%) = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100$$

Trapez na sl. 17-4a odgovara amplitudnoj modulaciji od oko 50%.

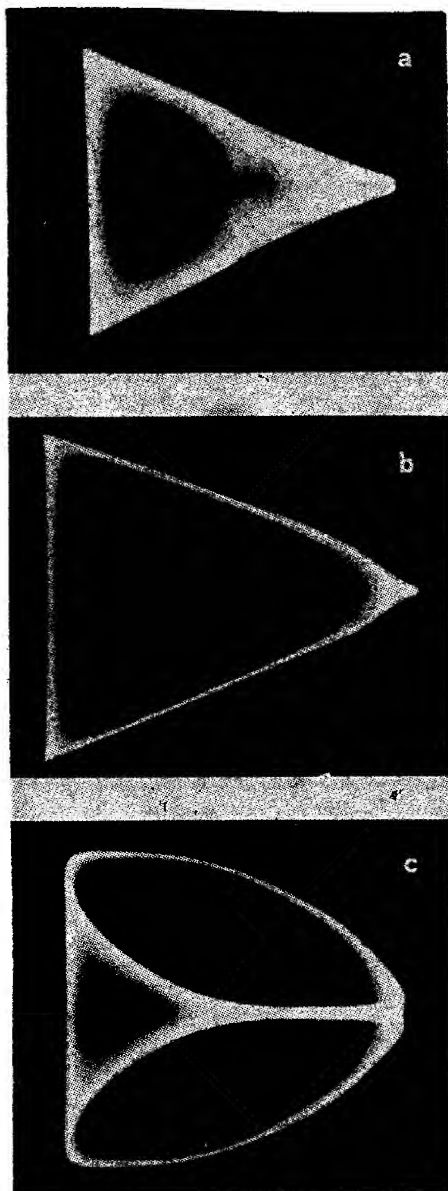
Kad modulaciju postepeno pojačavamo, raste duža stranica i smanjuje se kraća stranica trapeza. Konačno, kad modulacija bude 100%, trapez se pretvori u *trokut* (sl. 17-4b). Kad bismo i dalje pojačavali modulaciju, trokut bi poprimio oblik koji vidimo na sl. 17-4c. Izobličenje trokuta modulacije pokazuje da smo prešli 100% i upozorava nas da je i AM signal izobličen.

Ovakav trapez, odnosno trokut modulacije, dobije se kod predajnika koji u svom izlaznom stupnju imaju anodno moduliranu triodu ili tranzistor. Jednaki oblici se vide i onda ako je u izlaznom stupnju predajnika pentoda, modulirana istovremeno na anodi i na drugoj mrežici.

Ako je predajnik moduliran tako da se modulatorom mijenja i anodni napon i napon na drugoj mrežici pentode, može se na osciloskopskom ekranu pojaviti, uz 100-procentnu modulaciju, trokut koji, kao na sl. 17-5a, ima udvostručen rub gornje i donje kose stranice. To dolazi od prevelike vremenske konstante u strujnom krugu druge mrežice. Ako je, npr. druga mrežica pentode koja se nalazi u izlaznom VF stupnju predajnika blokirana prema šasiji ili prema katodi kondenzatorom prevelikog kapaciteta,

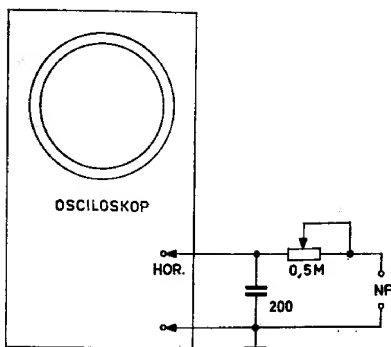


Sl. 17-4. Trapez i trokut amplitudne modulacije na ekranu osciloskopa: a) kod 50% modulacije; b) kod 100% modulacije; c) kod modulacije koja premašuje 100%



Sl. 17-5. Posebni oblici trokuta modulacije: a) 100% moduliran AM signal uz preveliku vremensku konstantu u strujnom krugu druge

mrežice; b) deformiran vrh trokuta kod 100-procentne modulacije na samoj drugoj mrežici; c) kose stranice trokuta modulacije pretvorene u elipse kao posljedica pomaka faze niskofrekventnog modulacijskog napona

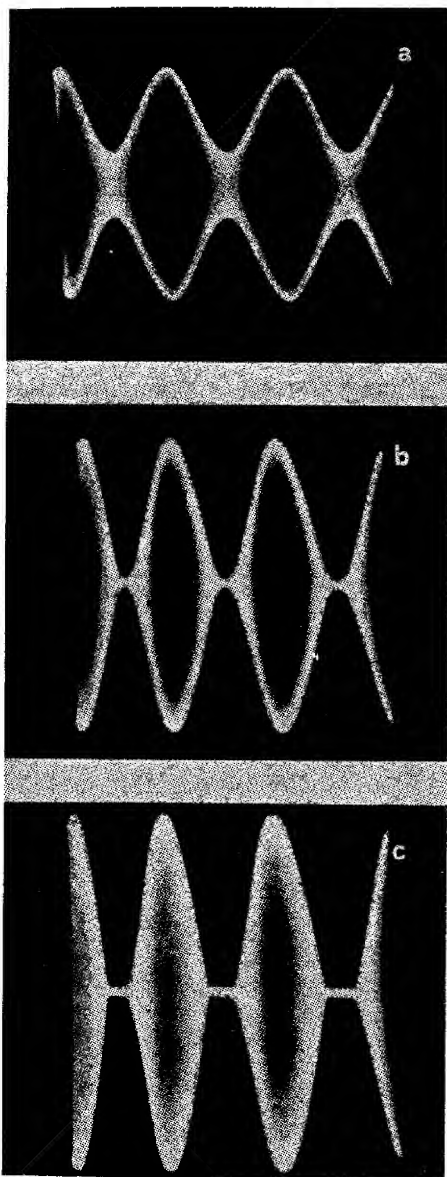


Sl. 17-6. Popravljanje pomaka faze modulacijskog napona kod osciloskopskog ispitivanja AM predajnika

dolazi do pomaka faze niskofrekventnog modulacijskog napona. Zato taj kondenzator redovito ima samo 1 do 2 nF. Dakako da i serijski otpornik druge mrežice može biti prevelik, ali to je rjeđi slučaj. Tada koristi dodatni otpornik između druge mrežice i šasijske koji treba odrediti pokusom.

Modulacija same druge mrežice kod tetroda i pentoda, u izlaznom VF pojačalu snage, također se može sresti u nekim predajnicima sa amplitudnom modulacijom. Kod njih *pravi*an trokut kod 100-procentne modulacije ima izgled prema sl. 17-5b. Nagli prelaz u šiljak pri vrhu trokuta je neizbježiva posljedica stanja koje nastaje u onim momentima kada, uslijed modulacije, momentalna vrijednost napona druge mrežice postane jednaka nuli. Zato je kod ove vrste modulacije bolje zadovoljiti se s nešto slabijom modulacijom, samo do 90%.

Može se dogoditi i to da na ekranu osciloskopa ne nastane trokut, već neka figura kao na sl. 17-5c. Trokut modulacije je izobličen uslijed pomaka faze modulacijskog napona na putu između predajnikovog modulatora i osciloskopskih elektroda za horizontalni otklon, u pravilu onda, ako kondenzator C_3 na sl. 17-3c ima premalen kapacitet.



Sl. 17-7. Ispitivanje predajnika osciloskopskim prikazom anvelope amplitudne modulacije: a) kod 50% modulacije; b) kod 100% modulacije; c) presnažna amplitudna modulacija

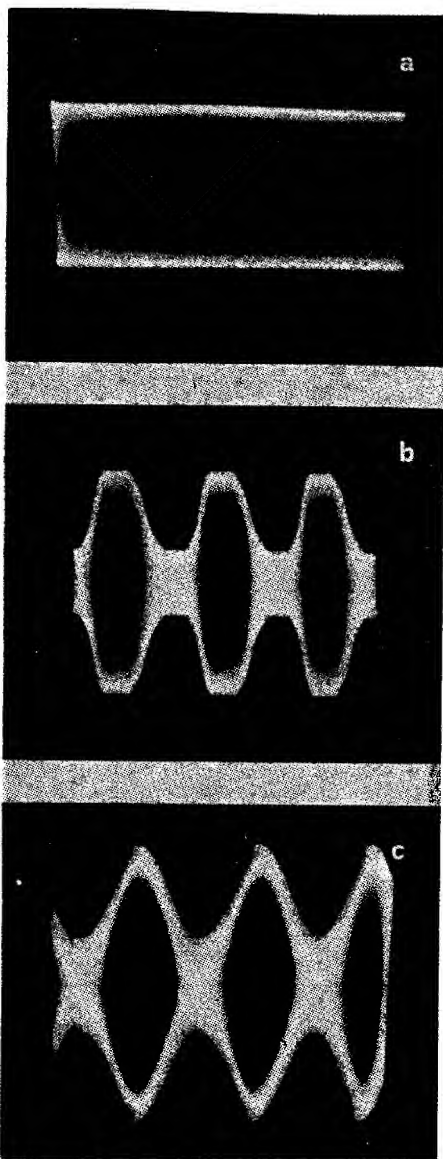
Ovaj se nedostatak može popraviti dodatkom kondenzatora od približno 200 pF i potencijometra, prema sl. 17-6. Potencijometru treba tako dugo mijenjati otpor dok se na ekranu pojavi normalan, pravilan trokut modulacije.

Modulacijska anvelopa

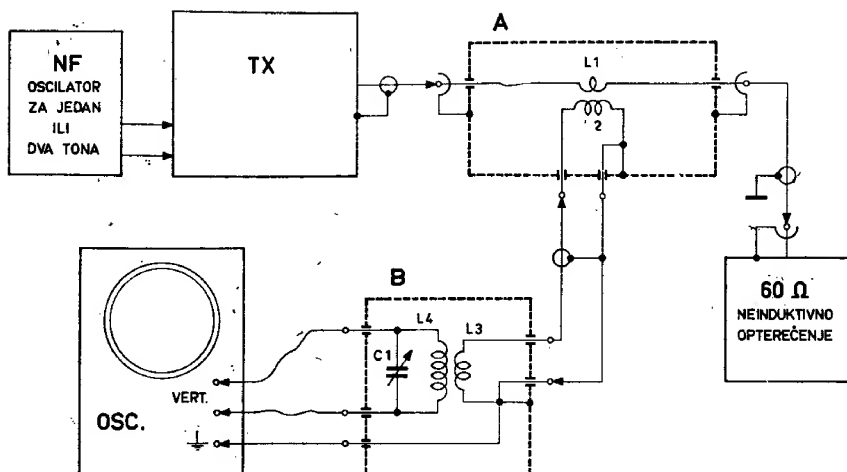
Amplitudnu modulaciju predajnika možemo ispitati i drugačije, tako da na priključnice za vertikalni otklon osciloskopa dovedemo visokofrekventni modulirani napon (sl. 17-7). Horizontalno otklanjanje elektronske zrake prepuštamo vremenskoj bazi osciloskopa. Kad ovu uključimo, moramo njenu frekvenciju sinhronizirati s modulacijskom frekvencijom. Na ekranu ćemo ugleđati oblik, kao na sl. 17-7a. Frekvencija vremenske baze osciloskopa je ovdje tri puta niža od frekvencije kojom je moduliran ispitivani predajnik. Zato se vide tri sinusoide kojima je slika omeđena prema gore i prema dolje. Ove sinusoide predstavljaju tzv. anvelopu modulacije o kojoj je već ranije bilo govora. Oblik je karakterističan za amplitudnu modulaciju od oko 50%. Kod još jače modulacije slika se izmjeni. Njen izgled uz 100% modulacije vidimo na sl. 17-7b. Ako stupanj modulacije prelazi preko 100%, vrijedi sl. 17-7c.

Na sl. 17-8 su tri primjera osciloskopskih slika za tri različita nedostatka. U primjeru a) nema modulacije, modulator je ili isključen ili defektan.

Neispravna modulacija, u primjeru b), posljedica je upotrebe preslabog modulatora. U želji da postignemo jaču modulaciju, na ulaz modulatora dovodimo prejake NF signale pa je izlazni stupanj samog modulatora preterećen. Dolazi do velikih izobličenja koja se ovdje očituju u »rezanju« vrhova sinusoide, jednako sa njene gornje kao i sa donje strane. Unatoč toga mo-



Sl. 17-8. Tri česte pogreške pri amplitudnoj modulaciji: a) modulator ne radi; b) nedovoljna i izobličena modulacija. Modulator je preslab i u njemu se izobličuje niskofrekventni signal; c) oscilogram je pokvaren djelovanjem brujanja iz električne mreže izmjenične struje



Sl. 17-9. Pregled pribora koji je potreban za osciloskopsko ispitivanje SSB predajnika i linearnih VF pojačala. Tumačenje u tekstu

dulator nije u stanju da potpuno »izmodulira« predajnik.

U trećem primjeru (sl. 17-8c) oscilogram je iskrivljen djelovanjem brujanja koje ima svoj uzrok ili u predajniku ili u modulatoru ili je posljedica djelovanja mreže izmjenične struje na sam osciloskop (žice koje povezuju osciloskop s predajnikom).

ISPITIVANJE RADA SSB PREDAJNIKA

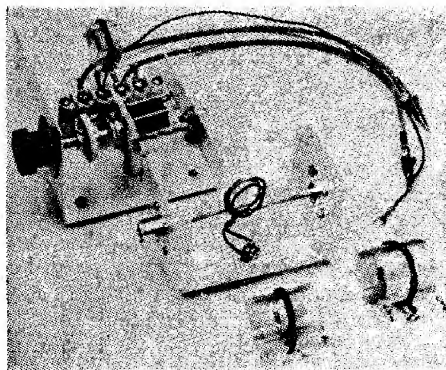
Pribor i uređaj za osciloskopsko ispitivanje SSB predajnika i linearnih VF pojačala

Na sl. 17-9 prikazan je kompletan uređaj za osciloskopsko ispitivanje SSB predajnika i linearnih VF pojačala za SSB signale. Tu ćemo susresti mnogo od onog pribora koji smo već upoznali govoreći o osciloskopskom ispitivanju AM predajnika.

Opet je potreban niskofrekventni, sinusoidalni oscilator za frekvenciju oko 1000 Hz. Za određena ispitivanja koja ćemo kasnije opisati potreban je takav uređaj koji

daje dvije različite niske frekvencije.

Veza između SSB predajnika (TX) i osciloskopa (OSC) je malo drugačija. Da se posebnom sondom ne mora prilaziti zavojnici izlaznog titrajnog kruga, što je u savremenim uređajima — koji su veoma zbijeno građeni — gotovo nemoguće, služi posebna sprava A. Vidimo je i na sl. 17-10 u sredini. Između dvije koaksijalne priključnice razapeta je debela žica. U svo-



Sl. 17-10. Dio pribora na sl. 17-9. Objašnjenje u tekstu

joj sredini savijena je u jedan zavoj, L_1 . S njime je u induktivnoj vezi zavojnica L_2 koja ima dva zavoja jednakog promjera. S jedne strane se A komadićem koaksijalnog kabela priključuje na predajnik umjesto antene, dok na drugu stranu valja spojiti »lažnu antenu«, tj. neinduktivno opterećenje od 50 do 60 Ω . Na krajeve zavojnice L_2 spaja se dvožilni upredeni vod kojim »uzorak« VF signala odlazi na krajeve zavojnice L_3 , smještene u posebnu kutijicu B, u blizini osciloskopa. Zavojnica L_3 također ima dva zavoja i omotana je oko sredine zavojnice L_4 . Ova se pomoću promjenljivog kondenzatora C_1 dovodi u resonanciju sa ispitivanim signalom. Na sl. 17-10, sprijeđa, su dva para takvih zavojnica, L_4 i L_3 , za različite opsege frekvencija. Na istoj slici, straga, je otvorena kutija B u kojoj vidimo izolirano montiran kondenzator C_1 i iza njega treći par zavojnica. Na C_1 su spojene žice koje vode VF signal na osciloskopske priključnice za *vertikalni* otklon. Obje ove limene kutije su za vrijeme rada potpuno zatvorene. Posebno treba paziti da su obje kutije spojene sa šasijom predajnika i sa uzemljenjem osciloskopa.

Ispitivanje SSB predajnika faznog tipa

Ako je neki amater-konstruktor sagradio fazni SSB generator, mora ga ispitati i ugoditi tako da »onaj drugi« bočni pojas bude zaista dobro potisnut zajedno sa valom nosiocem. Potiskivanje vala nosioca je razmjerno lako postići i ispitati. Za to može poslužiti i običan apsorpcioni valomjer veće osjetljivosti, ali kako provjeriti da li je (i koliko) potisnut neželjeni bočni pojas? Zar se to ne može načiniti bez skupoga osciloskopa? Pa, istini za volju treba odmah reći, može se prilično dobro! Ovu jednostavnu metodu duguje britanskom amateru G3CWB. U praksi se

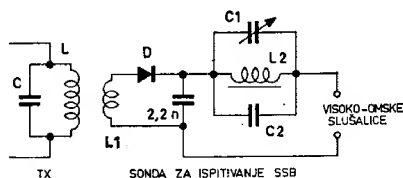
pokazala uspješnom, ako možemo uhom razlikovati dvije frekvencije!

Pomoćni uređaj koji nam je za tu svrhu potreban zapravo je razmjerno jednostavna sonda, shematski prikazana na sl. 17-11.

Ako je titrajni krug LC na izlazu faznog SSB generatora, moramo mu približiti zavojnicu L_1 naše sonde. Ova zavojnica ima 3 zavoja *izolirane* žice. Njih dovedemo blizu zavojnice L u SSB generatoru, najbolje uz njen hladni kraj. Kristalna dioda D ispravlja visokofrekventne signale i oni odlaze u visoko-omske slušalice, gdje ih čujemo kao na neki detektorski prijemni aparat. Pri tome demodulirani signali moraju proći i kroz poseban *niskofrekventni filter*.

Na niskofrekventni ulaz SSB generatora priključimo NF oscilator koji daje čist, ne prejak, što je više moguće sinusoidalni ton frekvencije oko 1000 Hz. Dok val nosilac i neželjeni bočni pojas još nisu potisnuti, na izlazu SSB generatora su prisutne tri frekvencije: val nosilac i oba bočna pojasa. U slušalicama čujemo frekvenciju NF oscilatora, ton od 1000 Hz.

Dovedimo filter $C_1L_2C_2$ u resonanciju s ovom frekvencijom. Zavojnica L_2 je primarna strana nekog malog izlaznog transformatora, C_1 je obični promjenljivi kondenzator od 2×500 pF kojemu su oba statora međusobno spojena, dok je C_2 kondenzator koji će možda biti potreban za postizavanje resonan-



Sl. 17-11. Sonda za ispitivanje faznih SSB generatora, prema G3CWB

cije. Kad je ona postignuta, ton od 1000 Hz je *najtiši*.

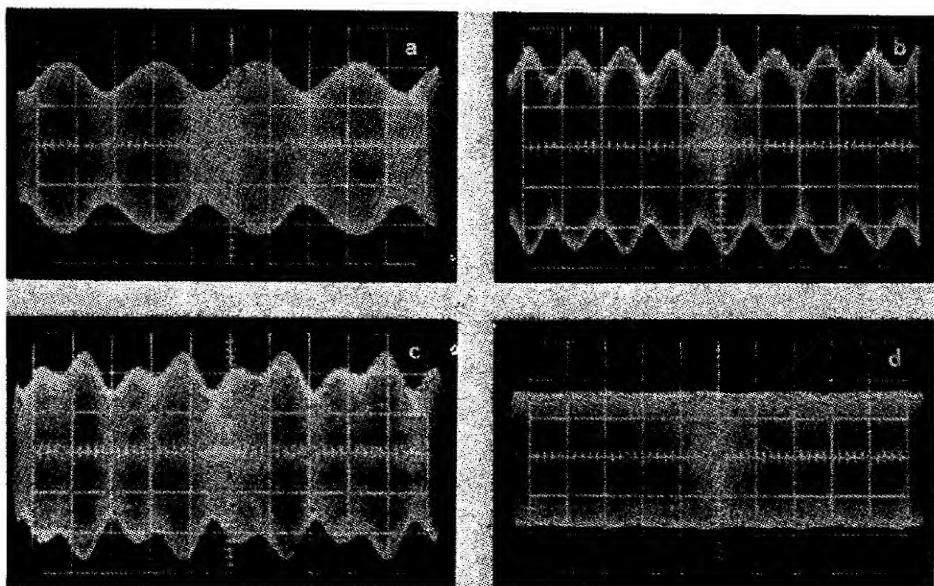
Potisnimo sada val nosilac kolikogod je moguće. Kad njega nestane, nestat će i frekvencija od 1000 Hz. Umjesto nje, ako su prisutna oba bočna pojasa, čuje se samo frekvencija 2000 Hz. Ova *dvostruko viša frekvencija* nastaje mijesanjem bočnih pojasa prilikom njihove detekcije u kristalnoj diodi. Neželjeni bočni pojas je onda potisnut, kad i taj dvostruko viši ton padne na minimum ili kad ga više ne možemo čuti! Možete li uhom *sigurno* razlikovati ove dvije za oktavu različite frekvencije? Da? Onda ćete se ovim načinom moći poslužiti!

Osciloskopsko ispitivanje daje ipak sigurniji i bolji rezultat. Sa opisanim uređajem, služeći se vremenskom bazom samog oscilosko-

pa, dobiju se iz faznih SSB generatora slijedeće slike. Ako val nosilac nije potisnut, ako »probija« na osciloskopu se vidi nešto poput sl. 17-12a. Valovitost odgovara frekvenciji NF oscilatora (1000 Hz). Uz dobro potisnut val nosilac, ali prisutan neželjeni bočni pojas, valovitost na oscilogramu odgovara dvostrukoj modulacijskoj frekvenciji (sl. 17-12b).

Ako probijaju val nosilac i neželjeni bočni pojas, vidi se sl. 17-12c. Valovitost viših vrhova odgovara frekvenciji od 1000 Hz, a valovitost svih vrhova redom frekvenciji 2000 Hz.

Kad smo konačno dobro potisnuli i val nosilac i neželjeni bočni pojas, valovitost gornjeg i donjeg ruba slike na oscilogramu nestaje i vidi se sl. 17-12d.



Sl. 17-12. Osciloskopska slika pri ispitivanju faznog SSB generatora: a) val nosilac nije dosta potisnut; b) utjecaj nedovoljno potisnutog neželjenog bočnog pojasa; c) i val nosilac i neželjeni bočni pojas su prisutni na izlazu SSB generatora; d) prisutan je samo jedan bočni pojas. Val nosilac i neželjeni bočni pojas su dobro potisnuti

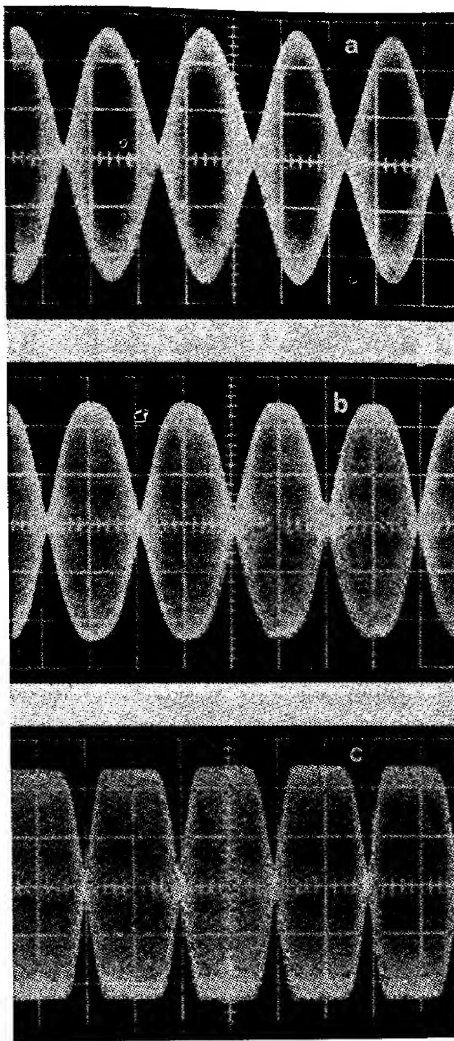
Osciloskopsko ispitivanje rada SSB predajnika filterskog tipa i linearnih pojačala

Primjenom samo jednog nisko-frekventnog tona mogu se i kod SSB predajnika filterskog tipa dobiti takve slike, kakve smo malo prije vidjeli pri ispitivanju faznih SSB generatora.

Kod filterskih SSB generatora, kod kojih su kristali za oscilatore valova nosioca i filteri pravilno odabrani, lako se postiže potrebno potiskivanje. Onaj bočni pojas koji želimo, nađe se nekako »sam po sebi« na izlazu uređaja.

Kako znamo, gotov signal koji nam daje sam SSB generator obično ima malu amplitudu i malu snagu. Treba ga pojačati prije nego ga odvedemo u antenu. To se postiže, kako znamo, tzv. *linearnim pojačalima*. Pojačanje mora u njima biti zaista linearno, bez izobličenja. Takvih linearnih stupnjeva ima u svakom SSB predajniku ili primopredajniku, ali također je moguće iza takvog aparata dodati još jedno linearno pojačalo u svrhu daljnjeg pojačanja snage. Upravo ovdje često nastaju velika izobličenja signala, osobito onda ako operator želi po svaku cijenu postići što veću snagu. Tada se pojačalo »potjera« u nelinearni režim rada, javljaju se široki »splateri« i smeta se svim ostalim operatorima na bandu i, povrh toga, radio-aparati i televizorima u okolici. Jest, snaga je veća, ali ta povećana snaga je »otišla« u produkciju smetnji a ne u pojačanje korisnog, pravilnog signala kojim se jedino može održati uredna i uspješna veza. Kako utvrditi koju maksimalnu snagu može *neiskrivljeno* dati neki SSB predajnik ili neko linearno pojačalo? Na ovo pitanje nam najpouzdaniji odgovor može dati samo *osciloskopsko ispitivanje* uz istovremenu modulaciju s dva tona.

Za dvotonsko osciloskopsko ispitivanje (*»two tone test«*) potreban je izvor dviju niskih frekvencija. Za ovo mogu poslužiti dva oscila-



Sl. 17-13. Ispitivanje SSB predajnika i linearnih pojačala pomoću dva tona: a) predajnik radi ispravno. Postoji samo jedan bočni pojas uz dobru linearnost pojačanja; b) zatupljeni vrhovi mogu biti znak početka nelinearnosti u pojačalima, kao i prejake pobude; c) ovakav oscilogram je posljedica prejakog pobuđenja uz veliko preterećenje pojačala

tora, kao onaj ranije opisani, ali svaki mora davati drugu frekvenciju uz što je moguće bolju sinusoidalnost niskofrekventnih titraja. Jedna i druga frekvencija moraju ležati između 300 i 3000 Hz. Njihova međusobna razlika neka bude otprilike 1000 Hz. One mogu biti, npr. 800 i 1800 Hz ili tome sličan par. Amplitude im moraju biti jednake.

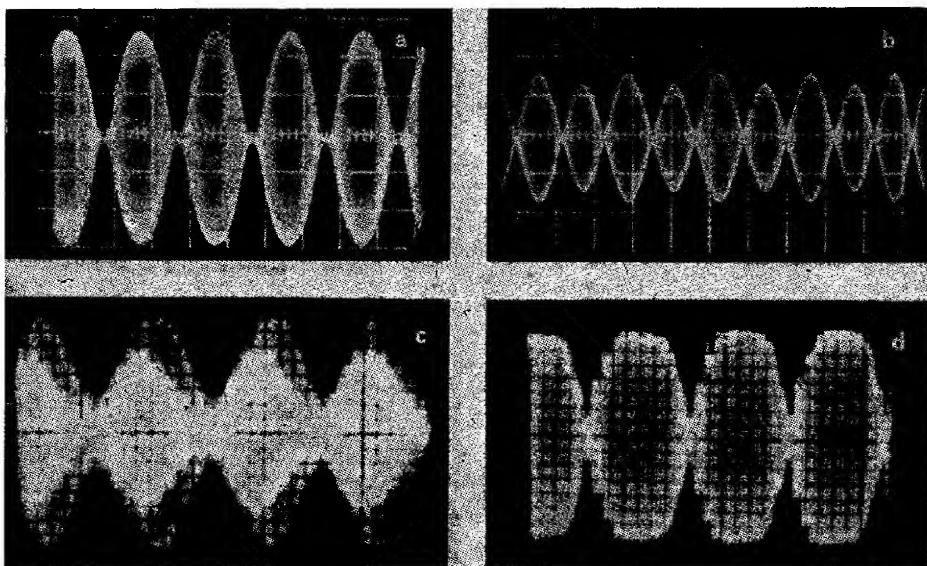
Uz uređaj prema sl. 17-9, ispravan SSB predajnik daje na ekranu osciloskopa sl. 17-13a. Kad se isključi modulacija, od ove slike smije ostati samo tanka, horizontalna linija. Ako linija ima jednoličnu, povećanu debljinu, znak je da prodire val nosilac pa ga treba bolje potisnuti. Ako se anvelope na takvoj osciloskopskoj slici ne sijeku kao pravilna slova X, nego u sredini ostavljaju veći razmak među šiljastim »dolinama«, onda treba bolje izjednačiti amplitude obih tonova. Anvelope se moraju dodirivati gotovo u šiljcima.

Blaže zatupljeni vrhovi pokazuju početak nelinearnosti i zasićenja VF pojačala (sl. 17-13b). Još jače izraženo, grubo »rezanje« vrhova, kao na sl. 17-13c, siguran je znak da smo pretjerali ili sa opterećivanjem pojačala ili sa njegovom pobudom.

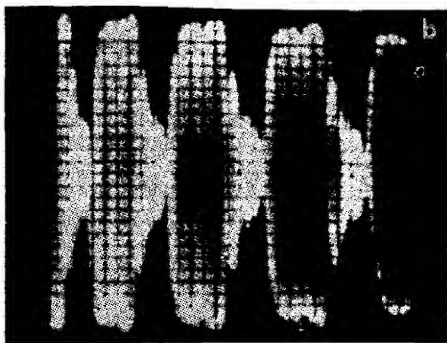
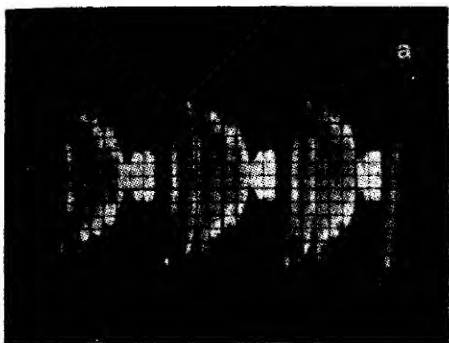
I neispravan prednapon, osobito ako je prevelik, može prouzročiti pojavu nelinearnosti. Tada se, kod dvotonskog ispitivanja, anvelope ne ukrštaju kao slovo X, već su u sredini zaobljene (sl. 17-14a). Treba popraviti prednapon u linearnom stupnju pa će ove pojave nestati.

Probijanje vala nosioca očituje se u dvotonskom oscilogramu (sl. 17-14b), amplitudama koje su nazmjenično nejednake.

Ako na ekranu ugledamo sl. 17-14c, možemo biti sigurni da se u pojačalima pojavljuju »dvije« oscilacije na ultravisokim frekvencijama.



Sl. 17-14. Neispravnosti: a) prevelik prednapon prouzrokuje zaobljenje anvelope u tačkama njihovog ukrštanja; b) val nosilac »probija«; c) u linearnom pojačalu se pojavljuju »divlje« oscilacije na ultravisokim frekvencijama; d) pojava parazitskih oscilacija na radnoj frekvenciji, uz istovremenu prejaku pobudu



Sl. 17-15. Oscilogram za vrijeme modulacije govornim frekvencijama: a) svi vrhovi su jasno uočljivi, aparatura radi uredno; b) prevelika amplituda signala, vrhovi su »odrezani«. Signal je izobličen i stvara velike smetnje na širokom području. Često je dovoljno smanjiti »micro-gain« da sva izobličenja nestanu!

Pojava snažnih parazitskih oscilacija na radnoj frekvenciji daje sl. 17-14d.

Posebno je zanimljivo pogledati kakve će se slike na ekranu osciloskopa dobiti, ako niskofrekventne oscilatore stalne frekvencije i stalne amplitude zamijenimo normalnim govornim frekvencijama. Umjesto oscilatora moramo na NF ulaz priključiti mikrofona. Ako u njega govorimo ili, još bolje, jednoličnim glasom podržavamo pojedine glasove, npr. aaaaa, ooooo, itd., pokazat će se veoma zanimljivi oscilogrami. Jedno im mora biti zajedničko: svi vrhovi na oscilogramima moraju, gdje postoje, ostati jasno uočljivi i šiljati, bez obzira na glasnoću (sl. 17-15a). Svako zatupljivanje ili rezanje tih vrhova (sl. 17-15b), znači pojavu nelinearnosti, nepravilnog rada predajnika, pojavu smetnja i »splatera«.

Nijedan SSB predajnik ili linearno pojačalo, osobito ako su novoga sagrađeni ili pregrađivani, ne bi se smio »tjerati« na rad sa maksimalnom snagom bez ovakvog prethodnog ispitivanja. Ako je uređaj uspješno »položio« ovakav ispit, možemo ga bez brige iskoristiti do ispitane snage, ali — ne jače od toga!

ODREĐIVANJE VELIČINE DEVIJACIJE FM SIGNALA

Ako je neki FM-predajnik modularan *samo jednom sinusoidalnom* niskom frekvencijom, pojavljuju se nizovi bočnih frekvencija. I valu nosiocu i svim bočnim frekvencijama mijenja se amplituda, ako mijenjamo intenzitet modulacije. Budući da se te amplitude mijenjaju na poznat način, moguće je odrediti veličinu devijacije i bez upotrebe zamršenih mjernih metoda.

Modulaciju sinusoidalnim tonom treba postepeno pojačavati *dok se amplituda vala nosioca smanji na nulu*. Ako je modulacijska frekvencija, recimo, 1000 Hz, val nosilac će se po *prvi puta* smanjiti do nule kad modulacijski indeks bude 2,405; po *drugi puta* uz modulacijski indeks od 5,520; po *treći puta* uz modulacijski indeks od 8,654 i dalje redom.

Za takvo mjerenje trebamo tačno baždaren *ton-generator* promjenljive frekvencije i *kommunikacijski prijemnik* sa pomoćnim oscilatorom za prijem telegrafije (BFO). Prijemnik mora imati veliku selektivnost (kristalni MF filter) da se može ugoditi za prijem samog vala nosioca. Uz uključen BFO čujemo

interferenciju. Ako sada frekventnu modulaciju ispitivanog predajnika polagano, pojačavamo, iz prijemnika se čuje *sve tiši ton da konačno sasvim nestane*. Pri jačoj modulaciji on se opet javlja, opet nestaje i tako redom.

Želimo li odrediti koliki treba biti napon modulacijskog signala da se određeni predajnik modulira *do devijacije ± 5 kHz*, odabrat će-

mo *nisku frekvenciju od 905,8 Hz*. Val nosilac *prvi puta* ne čujemo kad devijacija bude $\pm 2,18$ kHz. Kad se poslije daljnjeg pojačanja modulacije, opet pojavi val nosilac *i onda po drugi puta padne na nulu*, devijacija je upravo $\pm 5,00$ kHz. Istu devijaciju ćemo postizati kad god niskofrekventni modulacijski signal dosegne napon koji je, u tom momentu, imao onaj od 905,8 Hz.

ŠIRENJE RADIO-VALOVA

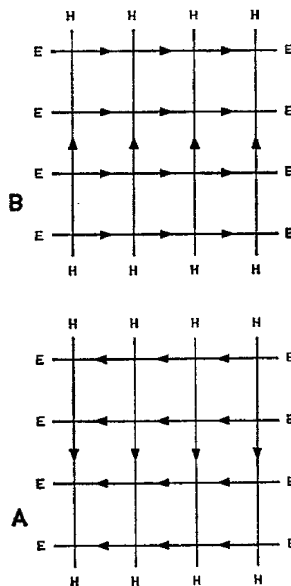
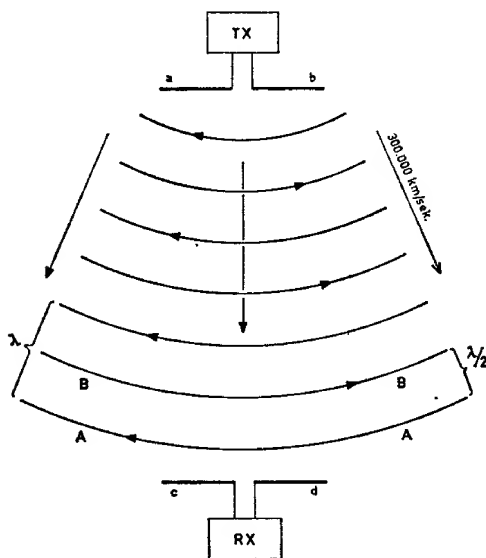
KARAKTERISTIKE RADIO-VALOVA

Elektromagnetski valovi

Svi radio-valovi (talasi) spadaju, zajedno s valovima svjetlosti, među *elektromagnetske valove*. Kao i svjetlost, radio-valovi se kroz prazan prostor šire brzinom od 300.000 km/s. Oni se također mogu odbijati (refleksija), lomiti (refrakcija) i ogibati (difrakcija). Svaki se elektromagnetski val sastoji od periodičkih promjera električ-

nog i magnetskog polja. Svaku promjenu jakosti električnih sila u prostoru prati promjena jakosti magnetskih sila.

Radio-valovi omogućuju vezu na daljinu. Na sl. 18-1 je sa *TX* označen neki emisioni radio-uređaj (odašiljač, predajnik, davač) zajedno sa svojom antenom, *a-b*. U toj anteni teče visokofrekventna struja određene frekvencije (*f*). Ova struja naizmjenice nabija krajeve antene. Kad je kraj *a* nabijen pozitivno, kraj *b* će biti nabijen negativno. Malo kasnije — ovisno o frekvenciji



Sl. 18-1. Elektromagnetski valovi koji se šire od predajnika *TX* do prijemnika *RX* su polarizirani. Smjer promjena električnog polja označen je slovom *E*. Slovo *H* označuje smjer promjena magnetskog polja

— naboji se promijene pa će antena na svom kraju *a* biti negativno nabijena, na kraju *b* pozitivno i tako redom. Ovo ne može ostati bez djelovanja na okolinu. U okolnom prostoru se istom frekvencijom mijenjaju jakosti i smjerovi električnih i magnetskih sila, mijenja se električno i magnetsko polje.

Ove promjene šire se na sve strane brzinom svjetlosti pa nastaju valovi, kao i kod drugih periodičkih promjena koje se prenose na okolinu. Za dužinu vala vrijedi:

$$\lambda \text{ (metara)} = \frac{\text{brzina širenja (m/s)}}{\text{frekvencija (titraja/s)}}$$

Ako za brzinu širenja uvrstimo vrijednosti od $300.000 \text{ km/s} = 300 \times 10^6 \text{ m/s}$, gornja formula ima oblik:

$$\lambda \text{ (metara)} = \frac{300}{f \text{ (MHz)}}$$

Emitirane radio-valove predstavljamo kuglastim plohami koje odlaze od predajne antene u prostor. Uzduž svake od ovih ploha vlada ista faza električne (ili magnetske) sile, bez obzira na udaljenost do koje je doprla. Kako se valna ploha povećava tako se i energija koju val prenosi smanjuje. Zato kažemo da intenzitet elektromagnetske radijacije u većoj udaljenosti postaje manji. Do smanjivanja intenziteta valova dolazi i zbog drugih razloga. Jedan od njih je trošenje energije prilikom prolaza kroz neko sredstvo. To je *apsorpcija* energije vala. Ako ovakve dodatne apsorpcije nema, onda tzv. gustoća energije opada sa kvadratom udaljenosti. Amplituda promjene električne sile, tačnije jakost visokofrekventnog *električnog polja* smanjuje se *obrnuto* proporcionalno sa daljinom. U dvostrukoj daljini jakost polja padne na polovicu, u desetostrukoj daljini na deseti dio i tako redom.

Kada radio-valovi stignu do antene prijemnika *c-d* (sl. 18-1) u njoj će se djelovanjem valova *inducirati* visokofrekventna izmjenična struja

iste frekvencije, kakva teče i u anteni predajnika.

Gledajući ususret valovima vidimo da će valna ploha *A* prva stići do prijemne antene. Iza nje će stići valna ploha *B*. Djelovanjem prve poteći će u prijemnoj anteni struja od *d* prema *c*. Kad stigne druga valna ploha, struja će poteći od *c* prema *d*.

Iza valne plohe *B* stići će slijedeća valna ploha na kojoj je smjer električnog i magnetskog polja jednak onima na plohi *A*. Udaljenost između dvije susjedne valne plohe. *A* i *B*, u slobodnom prostoru (u atmosferi ili u vakuumu) iznosi tačno polovicu dužine vala ($\lambda/2$). Razmak između dvije istovrsne valne plohe jednak je dužini vala (λ).

Polarizacija valova

Inducirani visokofrekventni napon u prijemnoj anteni će biti najjači, ako su predajna i prijemna antena jedna s drugom paralelne. To je zato jer su radio-valovi *polarizirani*. Gledamo li ususret valovima, električno polje *E* na valnoj plohi *A* (sl. 18-1, desno dolje) ima smjer ulijevo. Magnetsko polje *H* ima smjer prema dolje. Na slijedećoj valnoj plohi, *B*, smjerovi polja su obrnuti: električno polje *E* ima smjer udesno, a magnetsko polje *H* prema gore (sl. 18-1, desno gore).

Kada se govori o *ravnini* polarizacije, redovito se misli na ravninu titranja *električnog* polja.

ŠIRENJE VALOVA U DALJINU

Površinski val

Iako su prve radio-veze bile ostvarene primjenom razmjerno kratkih dužina vala, početkom dvadesetih godina ovog stoljeća bilo je uvriježeno mišljenje da je udaljenost do koje mogu doprijeti radio-signalni na neki način proporcionalna dužina vala. Smatralo se da je

za vezu na veće daljine potrebna i veća dužina vala, tj. niža frekvencija predajnika. Zato su se tadašnje velike radio-stanice za prekocean-ske veze služile frekvencijama između 10 i 30 kHz. Takvih radiostanica ima i danas. One su, radeći na ovim »ultradugim« valovima, namijenjene za održavanje veze sa brodovima na moru i omogućuju gotovo jednaku jakost signala po danu i po noći. U prvo vrijeme su razlikovali »ve-like« dužine vala, od 1000 m do 30.000 m (300 do 10 kHz), i »male« dužine vala, od 300 m do 1.000 m (1.000 do 300 kHz). O tome i danas svjedoče oznake na francuskim radiofonijskim aparatima, gdje »G.O.« (»grandes ondes«) znači duge, a »P.O.« (»petites ondes«) srednje valove.

Smatralo se da radio-valovi kojima je dužina vala kraća od 200 m nemaju nikakvo praktično značenje. Činjenica da je prijem »malih«, današnjih srednjevalnih dužina, ovisan o dobu dana, te da su signali po noći redovito jači nego po danu, tumačilo se povećanom apsorpcijom elektromagnetske energije vala uslijed djelovanja sunčane svjetlosti.

Danas znamo da su ove pojave svojstvene samo jednom dijelu emitiranih valova, onome koji se širi uz samu površinu zemlje. To je tzv. *površinski val*. Površinski val postaje sve slabiji što je udaljenost od antene predajnika veća. Ovo slabljenje je manje iznad mora nego li iznad kopna. Osim toga je površinski val jače izražen ako je frekvencija niža, odnosno ako je dužina vala veća.

Prostorni val

Razliku jakosti signala između dana i noći može se jednim dijelom pripisati razlikama u apsorpciji valova u atmosferi, ali to nije jedini razlog. Znatno jači je utjecaj *prostornog vala*, tj. onog dijela emitiranih valova koji ne slijedi površi-

nu, već u obliku prostornog vala odlazi u visoke slojeve atmosfere odakle se, uz određene uvjete, može vratiti.

IONOSFERA

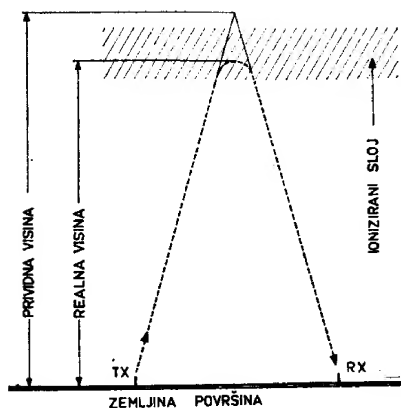
Za život na zemlji je osobito važan najniži sloj atmosfere, tzv. *troposfera*. Njena visina iznosi do 10 km. U tome sloju događaju se sve meteorološke promjene. Najviše planine dosižu jedva tako visoko (Himalajskim vrhovima je visina ispod 9 km!). U troposferi može doći do slabljenja svih radio-valova uslijed apsorpcije koja nije stalna, ali znatniji utjecaj ona ima na radio-valove najviših frekvencija, na ultra-kratke valove.

Iznad troposfere, u visini od 10 do blizu 25 km, nalazi se sloj male gustoće u kojemu više nema strujanja vjetra. Taj je nazvan *stratosferom*, jer se sastoji od mirnih slojeva. Kroz stratosferu mogu prolaziti svi radio-valovi i ona, koliko se zna, nema osobitog utjecaja na njihovo širenje.

Najodlučniji je utjecaj *ionosfere* (jonosfere) koja se nalazi u još većim visinama, od 25 ili 30 km pa sve do blizu 500 km. Izvan toga je već međuplanetarni prostor.

Ionosfera je dobila svoje ime po *ionima* (jonima), električki nabijenim česticama veoma razređenih atmosferskih plinova. Do ionizacije ovih najviših slojeva zemaljske atmosfere redovito dolazi djelovanjem ultraljubičastih zraka sunčane svjetlosti koja se tamo apsorbira; od različitih ioniziranih čestica (tzv. korpuskularnih zraka) koje dolaze u atmosferu kao posljedica aktivnosti sunčanih pjega; od različitih meteora, meteorita i čestica tzv. »svemirske prašine« što se zalijeću u atmosferu i izgore već u njenim najvišim slojevima.

Kad je radio-amaterima uspjelo pomoću kratkih valova uspostaviti vezu preko Atlantika, bilo je to



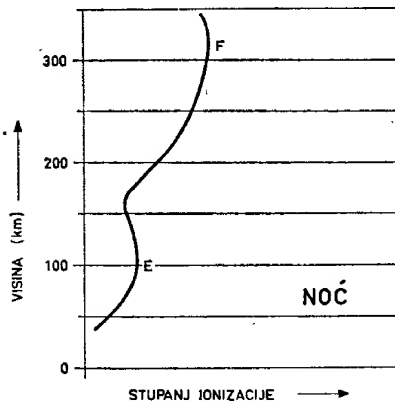
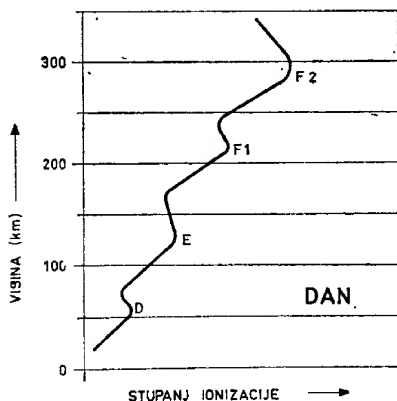
Sl. 18-2. Appleton-ov način mjerenja visine ioniziranog sloja koji se nalazi veoma visoko u atmosferi

jednako senzacionalno kao i ne-shvatljivo, sasvim u suprotnosti sa tadašnjim mišljenjem stručnjaka. Nastojeći da tu neočekivanu pojavu objasni, morao je Kennelly, kao i skoro istovremeno Heaviside, pretpostaviti da su gornji slojevi atmosfere ionizirani i da se od takvog sloja radio-valovi odbijaju i vraćaju. Postojanje ioniziranog sloja koji može reflektirati radio-valove dokazao je Appleton. Njegovu metodu prikazuje sl. 18-2. Kratko-

valni predajnik TX emitira kratke impulse. Oni se odbiju na ioniziranom sloju i vrate pa ih prijemnik RX »hvata« sa određenim zakašnjenjem. Iz tog se zakašnjenja može izračunati visina sloja, oko 100 do 120 km. Ovakva ispitivanja pokazuju da postoji više slojeva, od kojih su stalno prisutni, u promjenljivoj visini, najmanje dva sloja. Osim spomenutog Kennelly-Heaviside-ovog sloja, koji se danas označuje slovom *E*, postoji još jedan u visini između 200 i 300 km. Taj je nazvan Appletonovim slojem i danas ga označujemo slovom *F*.

Ovakvo mjerenje visine nekog ioniziranog sloja redovito daje nešto preveliku, tzv. »prividnu« visinu. Realna visina je nešto manja. To je zato jer se smjer širenja radio-valova unutar ioniziranog sloja savija i tek onda, ako je savijanje dovoljno veliko, vraća prema površini zemlje.

Broj, visina i raspored ioniziranih slojeva se mijenja, osobito u ovisnosti o izmjeni dana i noći, kako prikazuje sl. 18-3. Prema onome što danas znamo o ionosferi, po danu je najjače ioniziran sloj *F*. Po danu su u njemu redovito dva maksimuma ionizacije pa se može razlikovati sloj *F₂* (oko 290 km) i



Sl. 18-3. Promjene stupnja ionizacije s visinom. Lijevo: po danu; desno: po noći

sloj F_1 (oko 220 km). Po noći se stupanj ionizacije smanjuje i od oba sloja preostaje samo jedan. Visina noćnog sloja F otprilike odgovara visini dnevnog sloja F_2 , ali nekada može biti i znatno niža. Smatra se da postojanje sloja F omogućuje sve noćne i većinu dnevnih kratkovalnih DX veza.

Sloj E nalazi se na manjoj visini (100 do 120 km). Po danu, kad mu je stupanj ionizacije veći, ovaj sloj omogućuje dnevne radio-veze na frekvencijama amaterskih opsega od 3,5 i od 7 MHz na umjerene udaljenosti. Po noći se ionizacija toliko smanji da kratki valovi redovito prođu kroz sloj E . Na njemu se onda odbiju samo još signali srednjevalnih stanica pa je njihov prijem po noći znatno bolji nego li po danu.

Za vrijeme najintenzivnijeg sunčanog svjetla, osobito tokom ljetnog dana, pojavljuje se i sloj D . On po noći redovito sasvim nestaje. Smatra se da je apsorpcija u tome sloju uzrok slabljenja srednjevalnih i nekih kratkovalnih signala za vrijeme ljetnih podnevnih sati.

Promjene ionosfere koje su uvjetovane izmjenom godišnjih doba uglavnom ovise o trajanju sunčanog svijetla.

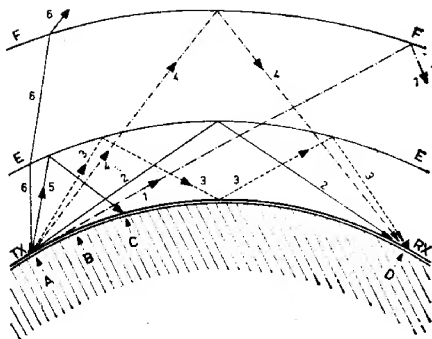
Periodičnost broja sunčanih pjege izaziva promjene u ionosferi koje se pojavljuju približno svakih 11 godina.

UTJECAJ IONOSFERE NA ŠIRENJE KRATKIH VALOVA

DX na kratkim valovima

S povećanjem frekvencije postaju dužine vala kraće. Istovremeno je površinski val sve slabije izražen. Za održavanje radio-veze na velike daljine (DX) postaje sve važniji *prostorni val*.

Radio-valovi koji su od antene predajnika TX pošli u prostor (sl.



Sl. 18-4. Različite mogućnosti širenja radio-valova i utjecaj ionosferskih slojeva na njih. Ujedno su prikazani uvjeti za održavanje veze između A (TX) i D (RX). Objašnjenje u tekstu

18-4) mogu do udaljene antene prijemnika RX stići na više načina. Po noći se DX najčešće postiže tako da signal ode uvis sve do sloja F u ionosferi (4) i ondje se reflektira. Po danu je to isto moguće, ali također putem koji je označen brojem 2, tj. refleksijom na nižem sloju E . Rjeđa je pojava tzv. *dvostrukog preskoka*, smjerom broj 3. Pri tome kratkovalni signal ode do sloja E , vraća se do površine zemlje gdje se ponovno reflektira, ode ponovno do sloja E i od ovog prema udaljenom prijemniku.

Da bi se radio-valovi mogli reflektirati na nekom ioniziranom sloju moraju ga pogađati to položitiše, što je frekvencija viša. Za maksimalni domet (DX) moramo zbog toga nastojati da kratkovalne signale šaljemo smjerom koji je što bliže horizontu. Na sl. 18-4 vidimo da se takvim položitim smjerom za emisije (1) ima više izgleda za velike domete.

Pojava mrtve zone

Odašiljanjem signala prema horizontu, broj 1 na sl. 18-4, možemo radio-vezu održati i u blizini TX ,

u prostoru A-B. Zbog zaobljenosti zemljine površine nije moguće primiti signale iza B. Oni se opet mogu čuti u daljinama koje su veće od A-C. U toj daljini primaju se signali koji su došli refleksijom strmije putanje, broj 5. Valovi koji su otišli previše strmim smjerom (6) neće se vratiti. Oni se u ioniziranim slojevima samo lome i konačno izgube u svemiru. Prostor B-C ostaje dakle bez ikakve mogućnosti prijema signala stanice TX. To je tzv. *mrtva zona* (ili »skip-zona«, prema engl. »skip« = preskok).

Početak mrtve zone i njena širina ovisni su o frekvenciji i o stanju ionosfere. Drugačiji su po danu, drugačiji po noći; različiti po ljetu i zimi. Mrtva zona podliježe i naglim promjenama, a može se i veoma daleko protezati. Tipično vrijeme za DX-rad na kratkim valovima je onda, kad se kod nas mrtva zona proširi preko cijele Evrope. Tada više nije moguće čuti nijednu evropsku stanicu (osim lokalnih!) dok signali udaljenih stanica dolaze vrlo jasno i čisto.

Ako se, osobito na 14, 21 ili 28 MHz, najednom jako čuju one stanice koje su redovito u mrtvoj zoni, npr. one iz susjednih zemalja, govori se o »short-skipu«, tj. o »kratkom preskoku« (engl. »short skip«). Mrtva zona je tada izuzetno manja.

Redovita je pojava da se po noći na 28 MHz ne čuju udaljene radio-stanice. Signali DX stanica predvečer nestanu i »band« je »mrtav«. To je zato jer je mrtva zona postala tako velika.

Kritična i maksimalna frekvencija

Ako kratkovalni signal dovoljno niske frekvencije pošaljemo okomito uvis, vratit će se natrag zbog refleksije u ionosferi. Ako postepeno povećavamo frekvenciju, opazit ćemo da najednom nema više reflektiranog signala. Za određeno

stanje nekog ioniziranog sloja postoji *kritična frekvencija* kod koje je još moguće postići refleksiju radio-vala. Ako je radna frekvencija nekog odašiljača niža od kritične frekvencije, mrtva zona ne može postojati!

Poznavanje *maksimalne frekvencije*, koja bi nam u određenom momentu mogla poslužiti za vezu sa stanicom na određenoj daljini, također je veoma važno, osobito za komercijalne radio-veze. Ova frekvencija se označuje kraticom MUF (engl. »Maximum Usable Frequency«). Kao primjer navodimo da je MUF za udaljenost od 4000 km, za refleksiju na sloju F_2 , približno tri puta viša od kritične frekvencije za taj isti ionizirani sloj u isto vrijeme. Za udaljenost od 2000 km i refleksiju na sloju E redovito je MUF pet puta viša od kritične frekvencije.

Apsorpcija signala u ionosferi je najmanja ako je frekvencija jednaka MUF, dok se naglo povećava pri radnim frekvencijama koje su niže od te vrijednosti. Prema tome će se najbolji rezultati s malom snagom postići, ako je radna frekvencija odabrana što bliže maksimalnoj frekvenciji (MUF) za određenu daljinu.

Ako je MUF za sloj E niža od radne frekvencije kratkovalnog davača, signal se neće reflektirati. On prolazi kroz sloj E i stiže na sloj F . Za taj sloj može MUF biti dovoljno visoka za refleksiju signala pa se signal ipak vrati na površinu zemlje; dakako onda i u većoj udaljenosti. Sve ovisi o stanju ionosfere u određeno vrijeme.

Praćenjem broja sunčanih pjega i stanja ionosfere, te mjerenjem kritične frekvencije, moguće je za potrebe komercijalnih radio-veza za svaku udaljenost i za svako vrijeme načiniti »radio-prognozu« najboljih uvjeta rada. Za radio-amaterske veze to nije neophodno. Kažu da je za mnoge najviše čara upravo u iznenađenjima i u nepredviđenim »otvaranjima« radnih

mogućnosti na amaterskim opsezima. Ima među amaterima pravih majstora koji prema signalima što se čuju na pojedinom opsegu mogu ocijeniti kakve će prilike biti na drugim opsezima amaterskih frekvencija.

Pojave fadinga

Do antene prijemnika isti radio-signal ne dolazi samo jednim putem. Dva ili više dijelova istog vala mogu se sastati iako su prošli različito dugačke staze. Jedan takav primjer je prikazan na sl. 18-5. Ovdje TX označuje odašiljačku antenu. RX je prijemna antena. Smjer broj 1 pokazuje najkraći mogući put radio-valova između TX i RX. Polazeći sa antene TX, čak i onda ako je ona »usmjerena«, ako zrači pretežno u jednom smjeru, radio-valovi odlaze u više smjerova, npr., u smjeru broj 2. Ovi valovi se odbijaju ako naiđu na bilo kakvu zapreku, na površinu zemlje, na veliku zgradu, na planinsku stijenu, odnosno na neki sloj u atmosferi koji se po svojim svojstvima jače razlikuje od okoline. Ako i taj dio vala stigne na antenu RX, doći će do interferencije između ove dvije komponente. Prijem ovisi o odnosu faza, dakle o razlici dužine puteva broj 1 i broj 2. Jakost polja na mjestu prijema jednaka je zbroju obih komponenata pa može biti veća ili manja, prema tome da li su faze takve da se valovi međusobno pomažu ili oslabljuju. Najčešće se događa da se putevi valova ponešto mijenjaju što dovodi do promjena jakosti signala. Takve



Sl. 18-5. Mogućnost interferencije dvaju dijelova emitirano radio-vala, direktnog (1) i reflektiranog (2)

promjene nazivamo fading (prema engl. »fading« = iščezavanje). Do fadinga može doći također kombinacijom valova koji su do prijemnika stigli jednostrukim ili dvostrukim preskokom, kombinacijom površinskog i prostornog vala ili kombinacijom valova koji su došli bilo kojim putevima kroz ionosferu ili kroz troposferu.

Razlikujemo brzi i spori fading. Brzi fading je obično posljedica naglih promjena stanja ionosfere. Ako je to stanje razmjerno stabilno, fading je spor.

Velike promjene jakosti signala, za 10 do 20 dB ili još više, nazivamo »dubokim« fadingom. Češći je »plitki« fading kod kojega se jakost signala mijenja samo za nekoliko dB.

Cesta je pojava da su uvjeti širenja radio-valova za samo malo različite frekvencije znatno drugačiji. Znamo da se frekvencije bočnih pojasa kod telefonije samo malo razlikuju od frekvencije vala nosioca. *Selektivni fading* može zahvatiti ili sam val nosilac ili bilo koji od bočnih pojasa, što — uz promjene ukupne jakosti signala — dovodi do velikih izobličenja. Ovakva izobličenja su jače izražena kod amplitudno moduliranih signala nego kod SSB-telefonije. To je zato jer prilikom oslabljivanja vala nosioca poraste procenat modulacije, čak i preko 100%. Kod SSB-signala se to ne može dogoditi.

Ako se prijemnik nalazi unutar mrtve zone, do njega mogu doprijeti signali koji se nekim slučajem iz veće daljine odbiju »unatrag« prema predajniku i pogode antenu prijemnika (»back scatter«). Takav signal je redovito slab uz vrlo brz, »treperavi« fading. Slična raspršavanja signala »unaprijed« ponekad omogućuju održanje radio-veze frekvencijama koje su veće od maksimalne (MUF). Radio-valovi tada mogu prodrijeti prilično duboko u mrtvu zonu. Oni su

obično izvanredno slabi, ali stabilniji i sa manjim fadingom nego kod raspršnog odbijanja »sunatrag«.

Prigodom određenih vrsta aktivnosti sunčanih pjega nastaju u ionosferi poremećenja, tzv. *ionosferske oluje*, praćene naglim promjenama zemaljskog magnetizma i nemirom magnetske igle u busoli (kompasu). Tada je apsorpcija valova u ionosferi povećana a mogućnosti održavanja kratkovalnih veza smanjene. Kritične frekvencije se također znatno smanje pa je veza možda moguća samo primjenom nižih frekvencija. Ionosferska oluja, koja može potrajati satima i danima, uzrok je oslabljenju ili čak nestanku signala, ali je treba razlikovati od redovitih pojava fadinga. Pojava ionosferskih oluja može se ponoviti za 28 dana, koliko je potrebno da se Sunce okrene oko svoje ose. Neposredno pred ovakva poremećenja prijem kratkovalnih signala obično je izuzetno dobar.

Neočekivane pojave intenzivno elektriziranih ionskih »oblaka«, nedovito u visini sloja *E*, tzv. *sporadična ionizacija*, također mogu biti povod naglim promjenama jakosti signala. I ove treba razlikovati od fadinga. Sporadična ionizacija sloja *E* je u našim geografskim širinama najčešća u proljeće i u rano ljeto, ali se neočekivano i neredovito pojavljuje tokom čitave godine. Ona smanjuje širinu mrtve zone i omogućuje održavanje noćnih veza na kraće udaljenosti s frekvencijama od 3,5 i od 7 MHz. Jače izražena ista pojava je uzrok ranije opisanom »šort-skipu« na 14, 21 ili 28 MHz. Izvanredno jaka sporadična ionizacija može omogućiti i dvometarske UKV kontakte na udaljenosti od 400 do blizu 2000 km.

Prema nekim opažanjima pojava sporadične ionizacije u sloju *E* ima također neku vezu sa pjegama na Suncu. Nema izravne potvrde da bi ta pojava ovisila o dobi dana ili noći, iako se čini da je spora-

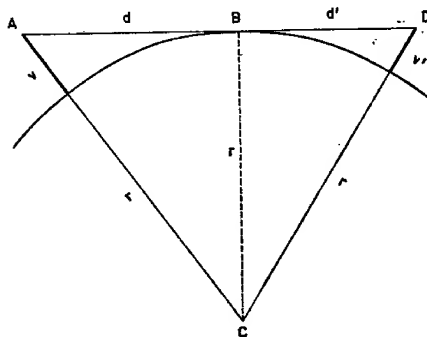
dična ionizacija češća u ranim prijepodnevnim satima i rano uvečer.

ŠIRENJE ULTRAKRATKIH VALOVA

Kvazi-optičko širenje i normalan domet

Što je frekvencija viša i dužina vala kraća, površinski val je sve manje izražen. Prostorni val postaje sve značajniji faktor pri održavanju radio-veza. U ultrakratkovalnom (UKV) području, od 30 MHz na više, sve jače dolazi do izražaja sličnost radio-valova s valovima svjetlosti, sve jače se opaža tzv. *kvazi-optičko* širenje. Ultrakratki valovi šire se u direktnim zrakama, kao svjetlost.

I njihov *domet* u normalnim prilikama odgovara dometu svjetlosti. Ako se sa položaja jedne UKV radio-stanice može vidjeti druga, veza je moguća i sa najmanjim snagama. Često ne možemo vidjeti do kraja teoretskog, optičkog horizonta, osobito ako je zbog magle ili sumaglice ili drugih razloga smanjena vidljivost. Ovakve zapreke manje smetaju radio-valovima



Sl. 18-6. Crtež s kojim se objašnjava način izračunavanja udaljenosti do horizonta d i mogućnosti održavanja UKV-veze između dviju radio-stanica u međusobnoj udaljenosti $(d + d')$

pa je iskustvo pokazalo da se sigurne veze ultrakratkim valovima mogu ostvariti do kraja horizonta i, obično, uslijed ogiba valova preko optičke granice, još otprilike 15% dalje (za 144 MHz).

Ako znamo kolika je udaljenost do horizonta, možemo odmah znati i koliki može biti *siguran* domet naše UKV stanice. Daljinu horizonta d možemo izračunati, prema sl. 18-6, ako znamo visinu v u kojoj se nalazi antena. Uz pretpostavke da je tačka B na kraju horizonta u istoj visini kao i podnožje antene, te da je udaljenost r jednaka polumjeru zemlje, vrijedi svima poznati Pitagorin poučak:

$$d^2 = (r + v)^2 - r^2$$

Kad se uvrsti vrijednost zemljinog polumjera $r = 6370$ km i gornja formula riješi, izlazi za daljinu do horizonta:

$$d = 3,57 \sqrt{v}$$

gdje treba visinu antene v uzeti u metrima, a daljinu do horizonta d u kilometrima. Rekli smo da je domet dvometarskih UKV signala redovito za 15% veći. Ako i to uzmemo u obzir, za domet UKV stanice slijedi:

$$d = 4,13 \sqrt{v}$$

Najširi horizont bi se u Jugoslaviji mogao vidjeti sa vrha Triglava. Visina nad morem iznosi 2863 m. Račun za daljinu do horizonta daje 191 km. Siguran domet dvometarskih signala može se očekivati do 220 km. Kad bi se neka druga radio-amaterska UKV stanica nalazila na približno jednakoj visini, moglo bi se s njom uspostaviti veza i onda kad bi međusobna udaljenost bila dvostruka, blizu 450 km. Prema tome, sa vrha Triglava sigurno se mogu očekivati veze između YU3 i: YU1, YU2, YU3, YU4, I1, HB, OE, DL, OK i HG. Ako bi na vrhovima planina blizu poljsko-čehoslovačke granice bila neka UKV stanica, gotovo je sigurno da bi se moglo »raditi« i SP. Da je ovakvo prosuđivanje ispravno po-

tvrdile su radio-amaterske ekipe koje su već više puta za vrijeme UKV-konesta bile na Triglavu i stvarno održale uspješne veze sa svim ovim zemljama i YU republikama.

Ako antenu postavimo na neku visoku zgradu, tako da je visina antene iznad okolnog zemljišta barem 25 m, ako je drugoj stanici antena samo 4 m iznad zemlje, bit će daljina na koju se može sa sigurnošću očekivati UKV veza, prema sl. 18-6 i gornjem računu, približno 25 km ($d + d' = 20,65 + 4,13 = 24,78$ km).

Sa Avale kod Beograda koja ima nadmorsku visinu od 511 m ili približno 440 m iznad banatske nizine, sigurna veza sa drugom stanicom kojoj je antena 4 m iznad zemlje moći će se održati na udaljenosti od približno 90 km ($d + d' = 86,73 + 4,13 = 90,86$ km). To je dalje od Zrenjanina. Pri tome je dovoljna snaga od samo nekoliko vata!

Želimo li sa sigurnošću postići veće udaljenosti, moraju obje radio-stanice imati antene koje su dovoljno visoko iznad okolnog zemljišta. Potrebnu visinu antene nije moguće uspješno nadoknaditi većom snagom predajnika!

Amaterske UKV veze obično ne moraju biti tako sigurne, pa se često uspostavljaju i mnogo udaljenije veze od izračunatih.

Utjecaj osobitih stanja ionosfere

Ionosfera normalno nije u stanju da UKV signale vrati refleksijom od bilo kojeg njenog sloja. Ovi valovi redovito prođu kroz sve ionizirane slojeve. To potvrđuje i redovita praksa održavanja veze sa različitim satelitima, s ljudima i napravama na Mjesecu, kao i sa svemirskim međuplanetarnim letjelicama. Između stanica na zemlji i njih veza se održava isključivo pomoću ultrakratkih valova. Pri tome su snage upravo nevjerovat-

no male. To je moguće jer se UKV signali samo malo apsorbiraju na prolazu kroz ionosferu.

Pojava osobito intenzivne *sporađične ionizacije*, koja se nekad pojavljuje u dijelovima sloja E, ima sposobnost da odbije i ultrakratke radio-valove. Tada su moguće i prave DX-veze.

Do takve ionizacije dolazi u visini od 100 do 150 km. Refleksijom od tih »ionskih oblaka« mogu UKV signali otići na daljinu od 800 do blizu 2000 km. Snaga predajnika može biti samo nekoliko vata!

Otprilike u istim visinama događaju se i pojave koje nazivamo *polarnom svjetlošću* (latinski: *aurora borealis*; kraće: *aurora*). I polarna svjetlost može reflektirati radio-valove vrlo visokih frekvencija, od 28 MHz na više. Karakteristika takvih refleksija je posebna vrsta brzog, »drhtavog« fadinga uslijed kojega uspijevaju samo CW-veze. Modulirani signali, osobito oni od 144 MHz postaju nerazumljivi. Ove se pojave najčešće opažaju oko 70° sjeverne ili južne geografske širine. Kod nas bismo morali i antenu predajnika i antenu prijemnika okrenuti prema sjeveru, ako bismo željeli da tim putem održimo vezu.

Meteori i meteoriti koji se zalijeću u našu atmosferu izgaraju u njoj. Tom prilikom nastaju ioni koji se neko vrijeme zadržavaju na meteorskim tragovima. I ovo se događa otprilike u visini sloja E. UKV signali od 144 MHz i više mogu se na tim tragovima reflektirati. Prenešeni signali su kratkotrajni i vrlo nestalni. Ipak je, primjenom posebnog načina sporazumijevanja, uspjelo ovim putem održati veze na udaljenosti od 1000 do preko 2000 km.

Troposferska inverzija i meteorološki utjecaji

Za mirnog vremena temperatura u atmosferi redovito pada sa visinom. Povećanjem visine temperatu-

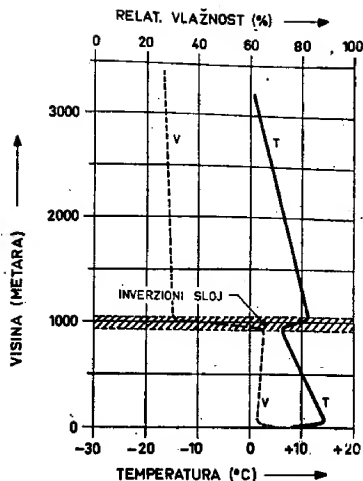
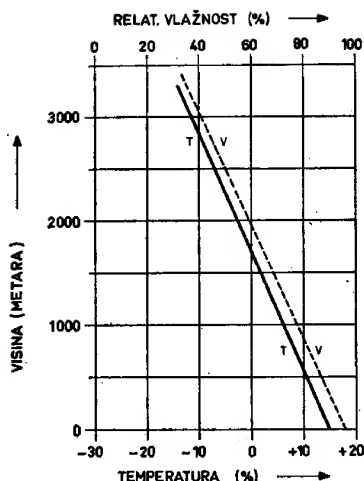
ra je, grubo uzevši, svakih sto metara iznad tla za 1°C niža. Na vrhu Zagrebačke gore, na Sljemenu, temperatura je obično oko 10°C niža nego, recimo, blizu Save; na Velebitu oko 15°C niža nego uz more i tako redom.

Na grafikonu (sl. 18-7 lijevo) vidimo da je sniženje temperature u većim visinama redovito praćeno smanjivanjem relativne vlažnosti. I vlažnost i temperatura najveći su pri tlu.

Kad se, osobito ljeti, poslije zalaska Sunca ohladi tlo, ohlađuje se i uzduh (vazduh, zrak) iznad njega. Ako nema vjetra, formiraju se slojevi. Tada, u visini oko 1000 m, često zaostaje topliji sloj (sl. 18-7 desno). Do tog sloja temperatura pomalo pada. U samom sloju temperatura poraste, dok se istovremeno relativna vlažnost naglo smanjuje. U većim visinama temperatura opet biva pomalo manja. I vlažnost takođe sporo pada. Pojavu takvog sloja u kojemu je slijed temperature preokrenut (invertiran) nazivamo *inverzijom* temperature. I pred jutro, kad se hladan uzduh slije u doline, može doći do takvih pojava. One su češće u ljetu i ranoj jeseni nego li zimi i u proljeće; češće su po noći nego po danu.

Inverzija obično može reflektirati ultrakratke valove i njoj zahvaljujemo one UKV veze kojima je, nekad uz pojavu laganog fadinga, daljina prilično preko optičkog horizonta, oko 200 do 500 km. To su one, ne suviše rijetke situacije, kada se, npr., iz Zagreba (iz samog grada!) može »raditi« Osijek ili Šabac. To su one večeri, kada se iz Beograda može održati veza sa Zagrebom ili čak s nekom YU3 stanicom koja se nalazi na nekoj planini u »portable QTH«.

Višestrukim refleksijama između takva dva sloja u atmosferi ili između jednog takvog sloja i tla postižu se i veće daljine, jer se formira tzv. »dukt«, kao neka cijev koja odvede signal vrlo daleko. No, to se rjeđe događa.



Sl. 18-7. Temperatura i vlažnost u atmosferskom uzduhu. Lijevo: obična situacija; desno: kod pojave inverzionog sloja

I kod određenih meteoroloških stanja može doći do povećanja dometa UKV signala, osobito onda ako se valovima na putu nađu prelazi između toplijih i hladnijih atmosferskih masa različite vlažnosti. Tu može doći do takvog loma valova koji pogoduje, ali također i do takvog koji ne pogoduje povećanju dometa.

Nepovoljni utjecaj povećane, ili promjenljive apsorpcije u atmosferi može se opaziti i kod stalnih veza na manje udaljenosti, posebno onda ako su upotrebljene male snage, ispod 1 W.

Svaki radio-amater koji se želi ozbiljnije baviti studijem širenja ultrakratkih valova morao bi raspolagati što boljim prijemnikom i ne prejakim predajnikom. Trebao bi što češće održavati veze sa bližim i udaljenim UKV stanicama i, uz bilješke o samom QSO-u, zapisati i podatke o meteorološkim prilikama: stanje barometra, temperaturu, vjetar, naoblaku, vidljivost prema horizontu i drugo.

Istovremeno bi trebao pratiti i prilike na kratkovalnim opsezima. Iznenadna pojava šort-skipa na 28

MHz mogla bi poslužiti kao upozorenje da će se možda i na UKV opsegu pojaviti izuzetno dobri uvjeti za DX.

Evo još nekoliko podataka iz radio-amaterskih meteoroloških opažanja:

a) *barometar*. Atmosferski tlak (pritisak) je trajno visok kroz više dana, eventualno uz male pravilne dnevne promjene, vrijeme je lijepo i sunčano: treba očekivati vrlo dobre mogućnosti za DX na UKV.

Trajno, polagano smanjivanje tlaka, povećanje naoblake, početak oborina: u početku još uvijek dobre UKV prilike koje se kasnije pogoršavaju.

Jako i brzo smanjenje tlaka, oluja sa oborinama: moguće su veze na male daljine, unutar horizonta, nema DX-a.

Tlak pomalo postaje veći, razvedranje: bolji uvjeti rada na UKV.

Nagli porast tlaka, manje oborine ili kratkotrajno poboljšanje vremena uz zahlađenje: vrijeme nije osobito povoljno za UKV veze.

b) *vjetar*. Ako nema vjetra: obično dobre DX prilike za UKV.

Po danu slab vjetar koji predvečer prestaje: izgledi za vrlo dobre prilike za DX, vjerojatno kroz čitavu noć.

Jak, dugotrajan vjetar: mogu se očekivati veze na srednje udaljenosti uz promjenljive jakosti signala.

c) *horizont*. Jasno se vide udaljeni objekti blizu horizonta: obično nema UKV veza na veće daljine. Do horizonta su veze omogućene.

Horizont se gubi u sumaglici, nebo je blijedo-plave ili sivkaste boje: veze sa udaljenim stanicama, iza horizonta, su vjerojatne. Nekada su mogući pravi DX-i, ako se formira inverzija.

Slažu li se i vaša opažanja s ovima?

Radio-veze putem Mjeseca i umjetnih satelita

Mjesec, taj *prirodni Zemljin satelit* (pratilac), koji oko nje kruži u daljini od oko 384000 km, također se može koristiti za uspostavljanje radio-veza. Za takve veze treba upotrebiti snažne predajnike i usmjerene antene. Frekvencije moraju biti u UKV opsezima. Uz odgovarajuće uređaje, osobito uz malošumne prijemnike, veze refleksijom radio-valova od mjeseca mogu se ostvariti već sa frekvencijama oko 145 MHz, ali još bolje sa višim frekvencijama (npr. 432 MHz). Dometi su vrlo veliki i ostvaruju se veze sa svim kontinentima.

Umjetni sateliti, kao npr. tipa »OSCAR« (*Orbital Satellite Carrying Amateur Radio*) i slični rade na principu »repetitora« omogućujući daleke UKV veze.

ANTENE

ANTENA I ANTENSKI SISTEM

Amaterska radio-stanica redovito se sastoji od prijemnika, predajnika, izvora električne energije i antene. Kad se govori o anteni, onda se obično misli na ovaj uređaj kojemu je zadaća da emitira i da prima elektromagnetske valove. Zbog toga *antena* mora biti postavljena u što većoj visini, što dalje od zgrada, od drveća i od svih drugih objekata koji bi mogli na bilo koji način smetati slobodnom širenju valova.

Prijemnik i predajnik redovito se nalaze, zajedno sa izvorom svoje pogonske električne energije, unutar zgrade. Njih sa antenom povezuje *antenski vod*. Kod emisije on mora prenositi radio-signale i, uz što manji gubitak energije, predati ih anteni. Kod prijema, antenski vod mora primljene radio-signale dovesti u prijemnik, po mogućnosti neoslabljene i bez dodatnih šumova.

I *zemljovod* je važan dio svake radio-stanice. Zemljovod osigurava spoj sa zemljom koji je kod nekih vrsta antena neophodno potreban. Osim toga dobar zemljovod je najbolje osiguranje od opasnosti električnih udaraca, kao i zaštita od грома.

Kompletan *antenski* sistem sastoji se, prema tome, iz antene, antenskog voda i zemljovoda. Razlika između lošeg i boljeg antenskog sistema može odgovarati stotrukom povećanju snage predajnika! Često je bolje i ekonomičnije postaviti nov, bolji antenski sistem,

nego povećati snagu. Za prijemnu antenu odavna vrijedi pravilo da je *dobra* antena najbolje visokofrekventno pojačalo koje najmanje šumi!

ANTENSKI VODOVI I KABELI

Širenje radio-valova uzduž žica

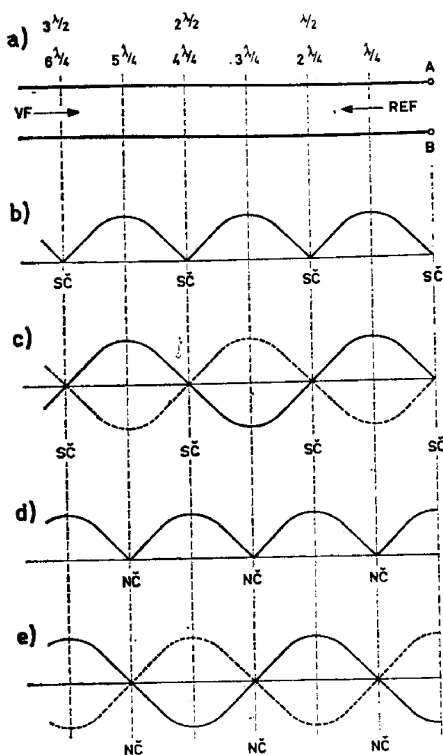
Radio-valovi se u slobodnom prostoru šire brzinom svjetlosti (c) koja iznosi 300.000 km/s. Njima pripada određena dužina vala (λ), ovisna o frekvenciji (f) i brzini širenja:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

U krugu istosmjerne struje elektricitet poteče odmah čim zatvorimo strujni krug. Čim nam se da električna struja odmah stigne s jednog kraja žice na drugi. Ipak, na udaljenost od 300 metara električna struja će stići sa zakašnjenjem od jedne mikrosekunde. Ovo je prekratko vrijeme da bi za tok istosmjerne struje moglo imati bilo kakvo značenje.

Drugačije je kod izmjeničnih struja visoke frekvencije. Jedna mikrosekunda je ovdje prilično dugo vrijeme. Ona je dovoljna za jedan cijeli titraj uz frekvenciju od 1000 kHz. U jednoj mikrosekundi ima čak 100 cijelih titraja kod frekvencije od 100 MHz.

Kod istosmjerne struje elektroni teku uvijek u istom smjeru. Kod izmjenične struje elektroni u žici



Sl. 19-1. Stojni valovi koji nastaju refleksijom radio-valova na otvorenom kraju dvojnog voda. Dvojni vod se sastoji od dviju međusobno paralelnih žica. SC = strujni čvorovi. NC = naponski čvorovi. Objašnjenje u tekstu

teku amo-tamo. Ako je frekvencija izmjenične struje tako velika da se dimenzije žice ne mogu zanemariti u odnosu na dužinu vala, izmjenični električni napon i jakost izmjenične struje raspoređuje se uzduž žice na osobit način. Ta pojava je posebno uočljiva na dvjema, međusobno paralelnim žicama.

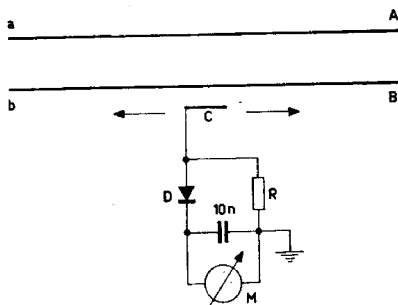
Dvije dugačke žice, koje su razapete tako da im je međusobni razmak stalan, završavaju u tačkama A i B (sl. 19-1a). Lijevi kraj istih žica je, npr., spojen sa krajevima zavojnice koja se nalazi u blizini nekog UKV oscilatora ili

blizu izlaznog titrajnog kruga nekog UKV predajnika.

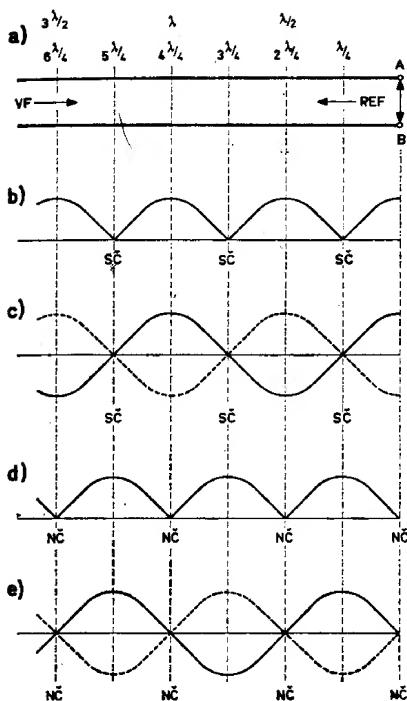
Napon između tačaka A i B ovisan je o frekvenciji. O tome se možemo uvjeriti jednostavnim pokazivačem visokofrekventnog napona koji može biti načinjen prema sl. 19-2. Nije potrebno da se ovaj pokazivač spaja sa žicama. Dosta je približiti njegovu »antenu« C žicama. Označeno uzemljenje također nije potrebno osobito kod vrlo visokih frekvencija. Umjesto uzemljenja je dovoljan kapacitet samog uređaja.

Pokazivač VF napona stavimo blizu kraja B paralelnih žica (sl. 19-1a) tako da »antena« pokazivača bude udaljena 1 do 2 cm, ovisno o osjetljivosti instrumenta M i o oscilacijama u žici. Ako mijenjamo frekvenciju, mijenja se i otklon kazaljke mjernog instrumenta. Pronađimo frekvenciju kod koje će taj otklon biti maksimalan. Tada je i napon između A i B najveći. Kažemo da paralelne žice *resoniraju* na tu frekvenciju.

Pomičimo sada pokazivač VF napona uzduž žice A ili uzduž žice B. Vidimo da se otklon kazaljke mjernog instrumenta M mijenja. Kada se udaljujemo od krajeva A



Sl. 19-2. Jednostavan pokazivač stojnih valova. D = germanijeva dioda. R = zaštitni otpornik koji određuje mjerni opseg instrumenta M i čuva ga od preterćenja. C = »antena« pokazivača, tj. savinuta žica, dužine 2 do 3 cm



Sl. 19-3. Stojni valovi na dvojnomo vodu kojemu su krajevi kratko spojeni. Vidi tekst

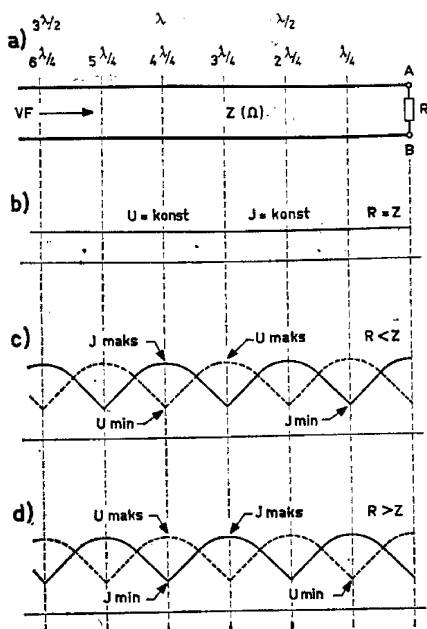
ili B, otklon kazaljke najprije pada, smanji se na nulu, opet raste, postiže maksimum, zatim opet pada, opet se smanji na nulu, ponovno raste i tako redom uzduž cijele žice (sl. 19-1d). Tačke, u kojima je visokofrekventni napon upravo jednak nuli, redaju se u jednakim razmacima koji odgovaraju polovici dužine vala. One tačke u kojima nema visokofrekventnog napona nazivamo *naponskim čvorovima* (NC). Crtež na sl. 19-1d ne uzima u obzir predznak napona, već samo njegov iznos, onako kako ga pokazuje mjerni instrument. Uzmemo li u obzir i predznak (polaritet) napona vrijedi sl. 19-1e. Izvučena sinusoidalna krivulja prikazuje raspodjelu napona uzduž jedne, a crtkana krivulja raspodjelu napona uzduž druge žice. Kad je napon na jednoj

od žica pozitivan, na drugoj je negativan i obrnuto.

Raspodjelu jakosti visokofrekventne struje uzduž paralelno razapetih žica nije tako lako pokazati, ali je jasno da na samim krajevima, u tačkama A i B, struja nema više kamo teći. Prema tome jakost struje na krajevima žica je sigurno jednaka nuli. Tu je *strujni čvor* (SC), sl. 19-1b. Kao na krajevima, tako je jakost struje jednaka nuli svuda, gdje je VF napon maksimalan. Razmaci među strujnim čvorovima također odgovaraju polovici dužine vala. Opet je, na sl. 19-1b, raspodjela jakosti struje prikazana bez obzira na njezin smjer. Ako uzmemo u obzir i smjer VF struje vrijedi sl. 19-1c. Izvučena sinusoidalna krivulja prikazuje raspodjelu jakosti visokofrekventne struje u jednoj, a crtkana sinusoida raspodjelu u drugoj žici. Ako u jednoj žici nekog momenta struja teče određenim smjerom, ona će istog momenta u žici nasuprot teći obrnutim smjerom.

Paralelne žice kojima su krajnje tačke A i B kratko spojene mogu također resonirati (sl. 19-3). Zbog kratkog spoja na krajevima žica ne može se pojaviti nikakav napon. Jakost visokofrekventne struje je međutim maksimalna. Strujni i naponski čvorovi izmjenjuju se uzduž žica slično kao i u predašnjem primjeru, samo je sve pomaknuto za četvrtinu vala. Razmaci između pojedinih strujnih čvorova (SC), kao i naponskih čvorova (NC), opet su jednaki polovici dužine vala.

Raspored jakosti visokofrekventne struje i visokofrekventnog napona je na ovakvim žicama stalan. Položaj strujnih čvorova i naponskih čvorova na žicama se ne mijenja. Otuda ime *stojni valovi*. Pojavu stojnih valova tumačimo pomoću refleksije na krajevima. Strelica VF na sl. 19-1 i sl. 19-3 predoduje visokofrekventni val koji po žicama ide udesno. Kad dođe do kraja, odbije se i vraća obrnutim smjerom (REF). Pri tome reflek-



Sl. 194. Opterećenje dvojnog voda otporom R . »Karakteristična impedancija« dvojnog voda je označena slovom Z . Stojnih valova nema, ako je $R = Z$. Ako je $R > Z$ ili $R < Z$, pojavljuju se stojni valovi. Ostalo u tekstu

tirani (povratni) val interferira sa onim koji dolazi od izvora VF titraja. Na kratkospojenom kraju reflektirana struja ima istu fazu kao i ona koja ovamo dolazi. Zato se na kratkospojenom, zatvorenom kraju jakost struje maksimalno pojača (sl. 19-3). Faza visokofrekventnog napona mijenja se prilikom refleksije na zatvorenom kraju. Zato se visokofrekventni napon, koji dolazi valom, *poništava* kad se na zatvorenom kraju susreće sa onim koji se reflektira.

Na slobodnom, *otvorenom* kraju žica, kod A i B na sl. 19-1, napon pri refleksiji zadržava istu fazu. Zato interferencijom dolazi do maksimalnog pojačavanja visokofrekventnog napon. Jakost struje reflektira se međutim suprotnom

fazom, uslijed čega dolazi do poništavanja. Jakost struje na otvorenom kraju jednaka je nuli.

Val koji uzduž žica ide od lijeva udesno donosi sa sobom određenu snagu. Refleksijom na kraju on tu snagu vraća natrag. Zato se može govoriti i o refleksiji visokofrekventne snage.

Opterećeni dvojni vod

Dvije međusobno paralelne žice u visokofrekventnoj tehnici predstavljaju tzv. *dvojni vod* (engl. »twin lead« ili »twin line«, njem. »Doppel-Leitung«). U različitim oblicima takvi vodovi služe za prenos visokofrekventne snage od generatora do potrošača. Termogeni otpor R , bez induktiviteta i bez kapaciteta, neka na sl. 19-4 predstavlja potrošač. U njemu će se visokofrekventna energija, koja do njega dođe dvojnim vodom, pretvarati u toplinu. Koliki dio energije će se u tome »čistom« otporu trošiti, ovisi o veličini otpora, kao i o svojstvima dvojnog voda. Ako je vrijednost otpora R odabrana baš tako da se sva energija, koja do njega dođe, u njemu potpuno potroši, nema se što reflektirati. Tada na dvojnomo vodu *nema stojnih valova*. Visokofrekventni napon je uzduž čitavog voda stalan a jakost visokofrekventne struje posvuda jednaka (sl. 19-4b). Tada kažemo da je *karakteristična impedancija dvojnog voda* jednaka vrijednosti priključenog otpora, $Z = R$.

Karakterističnu impedanciju nazivaju i *karakterističnim otporom* dvojnog voda. Pri tome ovu vrijednost ne smijemo zamijeniti sa *galvanskim otporom* samih žica od kojih je dvojni vod načinjen. Karakteristični otpor je dakle samo jedna *karakteristična* veličina koja omogućuje pravilnu upotrebu!

Odnos stojnih valova

Ako opterećenje dvojnog voda ne odgovara njegovoj karakterističnoj impedanciji, neće se sva visokofrekventna snaga trošiti u R (sl. 19-4a). Jedan dio VF snage će se reflektirati, bez obzira na to da li je otpor potrošača premalen ($R < Z$) ili prevelik ($R > Z$). Budući da se reflektira samo preostali, neutrošeni dio VF snage, amplituda reflektiranog vala će u svakom slučaju biti manja od amplitude vala koji dolazi. Zato nema ni potpunog poništavanja. Umjesto strujnih i naponskih čvorova javljaju se samo *minimumi* struje i *minimumi* napona. Njihov položaj na žicama ovisi o tome da li je R manje od Z (sl. 19-4c) ili je R veće od Z (sl. 19-4d).

Odnos najveće vrijednosti (U_{maks}) i najmanje vrijednosti VF napona (U_{min}), kao i odnos najjače (I_{maks}) i najslabije VF struje (I_{min}), koji se javljaju uzduž dvojnog voda, nazivamo *odnos stojnih valova* i bilježimo kraticom *SWR* (od engl. »Standing Wave Ratio«).

Ako je otpor potrošača $R = 3 Z$ (tj. tri puta *veći* od karakterističnog otpora) ili $Z = 3 R$ (tj. otpor potrošača tri puta *manji* od karakterističnog otpora voda), odnos stojnih valova će biti 1 : 3, ili općenito:

$$SWR = \frac{R}{Z} \text{ ili } SWR = \frac{Z}{R}$$

Vrijednost *SWR* ne smije biti prevelika, najviše se u praksi dopušta da bude 1 : 3. Tada se već 25% snage reflektira i vraća prema izvoru.

Najbolje je da vrijednost napona i jakost struje u cijelom dvojnog vodu budu najmanji, ako je $R = Z$, ako dakle nema stojnih valova. *SWR* je onda 1 : 1 ili, jednostavno rečeno, jednak jedinici.

Ako *SWR* nije jednak jedinici, na pojedinim dijelovima dvojnog voda javljaju se *povećane vrijed-*

nosti napona i pojačane struje. Povećanje napona ima za posljedicu porast gubitaka i zagrijavanje izolatora koji se redovito nalazi između žica dvojnog voda. Pojačanje struje dovodi do jačeg zagrijavanja samih žica. Jedno i drugo predstavlja povećanje gubitaka.

Želimo li dakle iz nekog VF generatora što više snage prenijeti kroz dvojni vod do potrošača, moramo *potrošač prilagoditi* vodu tako da na njemu ne mogu nastati stojni valovi. Ako je prilagođenje potpuno ostvareno, *SWR* će biti 1 : 1. Tada nema stojnih valova ni za koju frekvenciju. To znači da dvojni vod *ne resonira* i da uz optimalne uvjete prenosi snagu bilo koje frekvencije. Tada ni njegova dužina nije kritična. Dvojni vod koji je dobro prilagođen može imati bilo koju dužinu, za razliku od resonirajućeg dvojnog voda kojemu dužina mora biti u određenom odnosu prema dužini vala.

Ako na dvojnog vodu nema stojnih valova, onda je i njegova *ulazna impedancija* jednaka izlaznoj impedanciji a obje su jednake karakterističnoj impedanciji samog voda.

Princip transformiranja impedancije

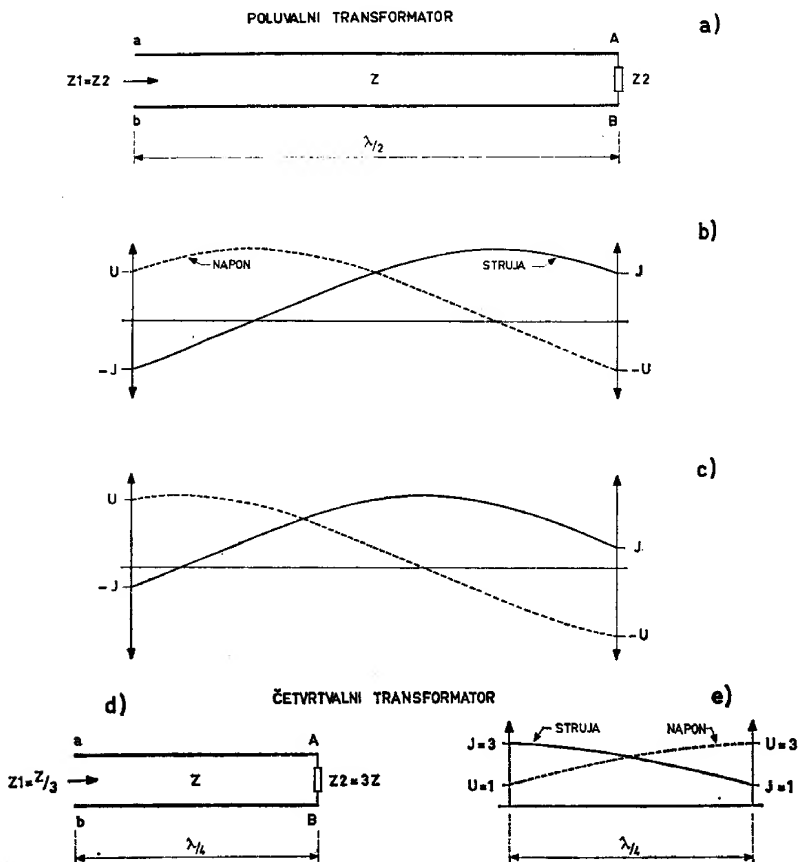
Dvojni vod kojemu je vlastita dužina jednaka polovici dužine vala naziva se i *poluvalnim transformatorom* impedancije. Makar kakva bila vrijednost karakteristične impedancije (Z na sl. 19-5a), *ulazna* impedancija (Z_1) uvijek je *jednaka izlaznoj* ($Z_1 = Z_2$). Ovo dokazuju crteži b i c (sl. 19-5) ako ih pažljivo proučimo. Visokofrekventni naponi U i jakosti visokofrekventnih struja I su na početku i na kraju nepromjenjeni. Nepromjenjen dakle ostaje i omjer U/I koji je jednak impedanciji, tj. otporu za određenu frekvenciju.

Poluvalni transformator impedancije ima opisano svojstvo kod

frekvencije za koju je polovica dužine vala jednaka dužini dvojnog voda, ali također i kod niza viših frekvencija za koje je dvojni vod dug po nekoliko polovica dužine vala.

Prema tome, komad dvojnog voda kojemu je dužina jednaka $\lambda/2$ (ili cijeli broj puta toliko) može poslužiti da neku impedanciju *nepromijenjenu* »prenese« sa jednog mjesta na drugo.

Ako neki dvojni vod ima vlastitu dužinu jednaku četvrtini dužine vala ($\lambda/4$) ili *neparnom* broju četvrtina dužine vala, nazivamo ga *četvrtvalnim transformatorom impedancije* (sl. 19-5d). Njegova ulazna impedancija jednaka je »obrnutoj« (recipročnoj) vrijednosti izlazne impedancije. To znači, prema sl. 19-5e, ako je na izlazu priključen potrošač koji treba uz veći napon slabiju struju, na ulazu će biti potreban



Sl. 19-5. Princip poluvalnog i četvrtvalnog transformatora impedancije: a) kod poluvalnog transformatora je ulazna impedancija Z_1 jednaka izlaznoj impedanciji Z_2 ; b) i c) dva primjera za dvije različite vrijednosti impedancije, tj. omjera napona U i jakosti struje J . Taj omjer je na početku i na kraju poluvalnog dvojnog voda isti, samo su faze promijenjene, » U « postane » $-U$ «, » $-J$ « postane » J «; d) i e) primjer četvrtvalnog transformatora za odnos impedancija $(Z_1 : Z_2) = (Z/3 : 3Z) = (1 : 9)$

niži napon uz jaču struju ili obrnuto. Odnos između izlazne (Z_2) i ulazne impedancije (Z_1), određen je formulom:

$$Z_1 = \frac{Z^2}{Z_2} \text{ ili } Z_1 \cdot Z_2 = Z^2$$

gdje je Z_1 = impedancija na »ulazu« četvrtvalnog transformatora; Z_2 = impedancija potrošača, priključenog na njegov »izlaz«; Z = karakteristična impedancija upotrebljenog dvojnog voda.

Iz gornjih formula slijedi:

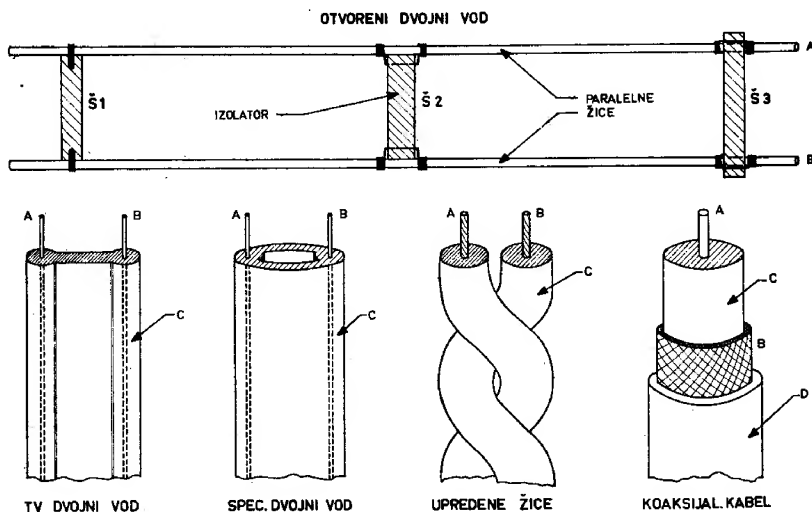
$$Z = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$$

Ovo znači da dva dvojna voda različitih impedancija Z_1 i Z_2 možemo međusobno povezati četvrtvalnim transformatorom koji ima karakterističnu impedanciju Z , ako je njena veličina jednaka drugom korijenu iz produkta $Z_1 \cdot Z_2$. Drugim riječima, dvojni vod dug četvrtinu vala doista ima svojstva transformatora.

Vrste i svojstva antenskih vodova

Sve što smo do sada rekli o dvojnomo vodu, načinjenom od dvije međusobno paralelne žice, vrijedi i za druge vodove ako su načinjeni od dva vodiča koji su u stalnom međusobnom razmaku. Nekoliko takvih prikazuje slika 19-6.

Gore je tzv. otvoreni antenski dvojni vod. Dvije gole bakrene žice, debele 1,5 do 2 mm, teku paralelno u razmaku koji je određen štapićima od izolatora. Ovi mogu imati različit oblik, S_1 , S_2 ili S_3 . Stavljajući ih se između žica da bi im se mogao održati razmak. Razmak među žicama je obično 5 do 15 cm. Manji je kod frekvencija oko 28 MHz a veći kod frekvencija oko 3,5 MHz. Karakteristična impedancija mu je redovito između 400 i 600 Ω . Ona ovisi o debljini žica i o njihovom međusobnom razmaku. Karakterističnu impedanciju otvorenog dvojnog voda možemo u svakom kon-



Sl. 19-6. Primjeri različitih antenskih vodova: otvoreni dvojni vod; plosnati »televizijski« dvojni vod; specijalni dvojni vod u obliku cijevi; upredene žice; koaksijalni kabel. A i B su vodovi, C je izolacija, D vanjski zaštitni sloj. S_1 , S_2 i S_3 su štapići od izolatora kojima je osiguran stalan razmak među paralelnim žicama otvorenog dvojnog voda

Tablica 19-1. Antenski vodovi i kabele

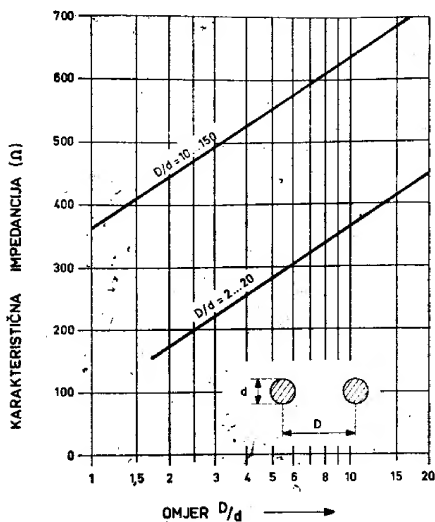
Oznaka ili naziv	Karakteristična impedancija (Ω)	Kapacitet (pF/m)	Faktor skraćivanja	Prigušenje (dB/100 m) kod						Proizvodnja
				30 MHz	100 MHz	200 MHz	300 MHz	600 MHz	1000 MHz	
OTVORENI DVOJNI VOD:										
—	300 do 600		0,96 do 0,99	0,5	1,0	1,55	2,6	3,0	4,0	Samo- gradnja
DVOJNI VODOVI SA POLIETILENSKOM IZOLACIJOM										
SK 300/130 SK 300/135 SK 300/140	300	2,4 2,4 4,0	0,8	—	3,6 3,6 6,7	5,1 5,1 12,2	—	12,3 12,3 31,5	—	*)
TU 240 TU 300	240 330	—	0,8	—	—	8,5 11,5	—	—	—	**)
TV DVOJNI VODOVI	75 150 300	65 — 15	0,67 0,70 0,82	—	13,5 8,3 4,7	19 12,5 7,2	—	37 23 14	50 32 19	***)

KOAKSIJALNI ANTENSKI KABILI:

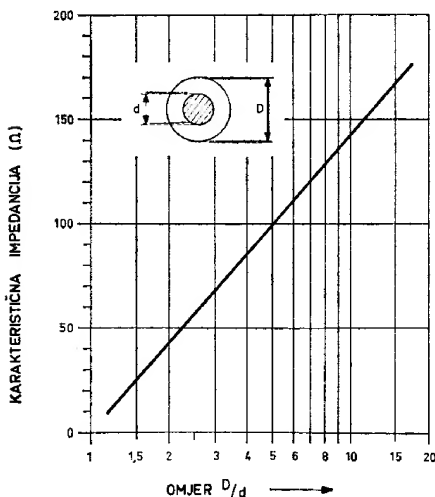
KEL 50/5/014	50	101	4,2	9	14	—	31	—	*)
KEL 50/7/020			3,2	6,9	10,5	—	23	—	
KEL 50/7/023			3,2	6,9	10,5	—	23	—	
KEL 60/5/038	60	44	5,2	10,2	14,5	—	28	—	
KEL 60/5/041			5,2	10,2	14,5	—	28	—	
KEL 60/7/044			3,7	7,4	11,2	—	24	—	
KEL 60/7/047			3,7	7,4	11,2	—	24	—	
KEL 75/3/064	75	67	7,2	14,5	22	—	45	—	
KEL 75/4/068			6,1	12,4	18,8	—	38	—	
KEL 75/4/071			6,1	12,4	18,8	—	38	—	
VK 50	50	100	—	—	—	—	—	—	**)
VK 75	75	67							
RG-8A/U (RG-8/U)	52	97	3,3	6,9	—	13,8	—	30	***)
H-100	50	80	2,3	4,4	6	7,5	10,3	13	
RG-17A/U (RG-17/U)	52	97	1,25	2,8	—	5,9	—	14	
RG-58A/U (RG-58/U)	52	94	6,4	13,6	—	26	—	52	
RG-11A/U (RG-11/U)	75	67	3,1	6,5	—	12,4	—	26	
RG-59A/U (RG-59/U)	75	69	6,2	12,4	—	23	—	46	

*) »ELRAD«, Gornja Radgona, S.R. Slovenija, SFRJ
 **) Fabrika kablova »Moša Pijade«, Svetozarevo, S.R. Srbija, SFRJ.
 ***) Različite inozemne tvornice.

kretnom slučaju odrediti pomoću dijagrama na sl. 19-7.



Sl. 19-7. Dijagram za određivanje karakteristične impedancije dvojnih vodova: D = razmak od sredine jednog do sredine drugog vodiča; d = promjer vodiča, žice ili cijevi



Sl. 19-8. Dijagram za određivanje karakteristične impedancije koaksijalnih vodova: D = unutrašnji promjer vanjskog, šupljeg vodiča; d = promjer unutrašnjeg vodiča

Ima i takvih dvojnih vodova koji su proizvedeni u tvornici tako da su dvije žice zalivene u neki pogodni izolator, npr. u polietilen. To su plosnati dvojni vodovi, kakvi ponekad služe kod televizijskih antena.

Specijalni dvojni vodovi kod kojih izolator ima oblik cijevi, bolji su od običnih plosnatih vodova. Kod njih je utjecaj vlage i kiše znatno manji.

Upredene žice, kakve redovito služe za vodove obične tehničke izmjenične struje koja služi u domaćinstvima, također predstavljaju neku vrstu dvojnog voda. Njegova je kvaliteta prilično slaba, jer su u polivinilskoj (PVC) izolaciji visokofrekventni gubici prilično veliki. Rijetko se upotrebljava za kraće antenske vodove.

Kod tzv. koaksijalnih kabela također postoje dva vodiča u stalnom međusobnom razmaku. Jedan je unutarnji vodič koji je postavljen uzduž osi kabela (A , sl. 19-6, dolje desno). Drugi vodič je redovito načinjen od žičnog pletiva i obavlja prvi vodič poput oklopa. On stvarno predstavlja oklop kojim je čitav kabel električki zaštićen prema vani. Za vanjsku mehaničku zaštitu koaksijalni kabeli su prevučeni posebnim zaštitnim, izolacionim slojem. Između unutarnjeg i vanjskog vodiča u kabelu je posebna izolacija visoke kvalitete.

Za karakterističnu impedanciju koaksijalnih kabela vrijedi dijagram na sl. 19-8, uz uvjet da se između unutarnjeg i vanjskog vodiča nalazi vazduh (vazduh, zrak). Ako je koaksijalni kabel ispunjen drugačijim izolatorom, treba vrijednosti koje se dobiju iz dijagrama pomnožiti sa faktorom:

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$$

gdje je ϵ relativna dielektričnost upotrebljenog izolatora.

Upotrebimo li bilo koji od ovakvih antenskih vodova, ne smijemo

zaboraviti da je brzina širenja radio-valova kroz vodove redovito manja od brzine kojom se oni šire kroz slobodan prostor. Mjereći dakle dužine, moramo znati za koliko je, npr. poluvalni komad nekog voda kraći od polovice dužine vala u slobodnom prostoru. Za svaki kabel postoji zato tzv. *faktor skraćivanja*. Za koaksijalne kabele on je redovito oko 0,66 ili dvije trećine. To znači da će, npr. za frekvenciju od 30 MHz za koju u slobodnom prostoru polovica dužine vala iznosi 5 m, poluvalna dužina koaksijalnog kabela biti samo $5 \times 0,66 = 3,3$ m.

Makar kako dobro bilo prilagođenje, makar je i SWR jednak jedinici, ipak još ima gubitaka u svakom antenskomvodu, u svakom kabelu. Gubici, osobito oni u izolatoru, rastu sa frekvencijom. Zato treba paziti kakav se kabel upotrebi za određenu frekvenciju.

U tablici 19-1 sakupljeni su najvažniji podaci za različite vrste antenskih vodova i kabela: za otvoreni dvojni vod koji svaki amater može sam načiniti, zatim za plosnate dvojne vodove sa polietilenskom izolacijom i konačno za nekoliko vrsta domaćih i uvoznih koaksijalnih kabela. Naše domaće tvornice proizvode i druge tipove kabela, ali u tablici su samo oni koje tvornice imaju stalno na skladištu ili ih mogu kratkoročno isporučiti. Za svaku tvornički proizvedenu vrstu antenskog voda ili koaksijalnog kabela u tablici su navedene vrijednosti karakteristične impedancije, kapacitet za svaki metar dužine, faktor skraćivanja i gubici izraženi u decibelima (dB) za dužinu od 100 m kod nekoliko različitih frekvencija.

Ispitivanje koaksijalnih kabela

Radio-amateri često imaju prilike da nabave neki koaksijalni kabel koji je negdje već bio upotrebljen ili je duže vrijeme ležao negdje na skladištu. Svaki koaksijalni ka-

bel koji je izložen atmosferskim i oborinskim utjecajima, kao i onaj koji dugo leži neupotrebljen, redovito ima veće gubitke od onih koji se za isti proizvod navode u tvorničkim prospektima.

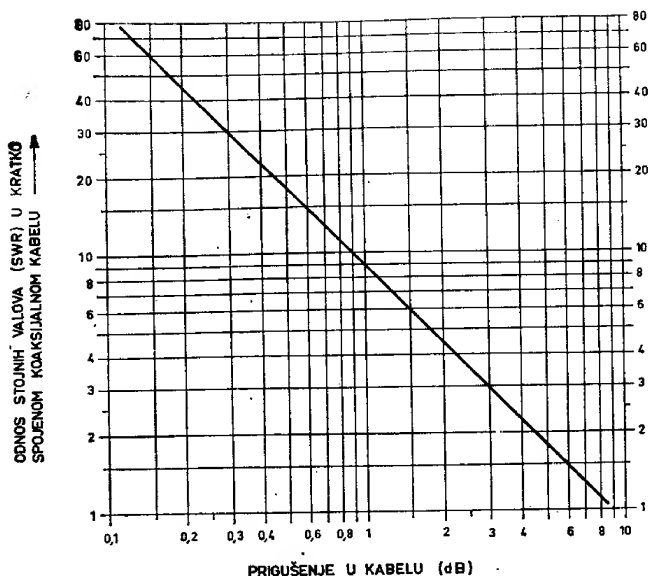
Tko ima dobar SWR-metar (mjerac stojnih valova) može vrlo lako ispitati kakvi su gubici u kabelu. Komad kabela, dugačak 10 do 30 ili više metara, jednim ćemo krajem propisno, preko koaksijalnog konektora, priključiti na predajnik. Suprotni kraj kabela ćemo kratko spojiti, uključiti predajnik i izmjeriti SWR. Poznavajući SWR, možemo prigušenje u decibelima dobiti iz dijagrama na sl. 19-9.

Ovakvo dobijena vrijednost prigušenja vrijedi za odabranu dužinu kabela i za frekvenciju sa kojom smo izvršili mjerenje.

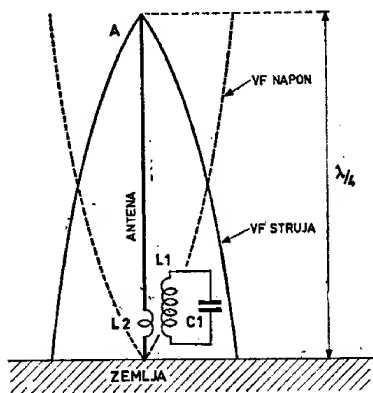
OSNOVNE VRSTE ANTENA

Četvrtvalna antena

Vertikalna četvrtvalna antena spojena je jednim svojim krajem sa zemljom. Drugi kraj antene strši slobodno uvis (sl. 19-10). U njoj može električna struja teći gore-dolje. Ovakve titraje možemo u anteni pobuditi na različite načine, npr. tako da u blizini zavojnice L_2 , uključene u antenu, stavimo neki visokofrekventni generator s titrajnim krugom L_1C_1 . Mijenjajući frekvenciju generatora možemo postići da antena resonira. To će redovito biti na onoj frekvenciji za koju četvrtina dužine vala odgovara dužini antene. To je osnovna frekvencija antene. Resonancija se također može postići i kod viših frekvencija za koje je dužina antene neparni broj četvrtina dužine vala, ali vertikalnu antenu obično koristimo na njenoj osnovnoj frekvenciji.



Sl. 19-9. Dijagram za određivanje gubitaka u koaksijalnim kabelima. Za ispitivanje mora se udaljeni kraj kabla kratko spojiti i mjeriti odnos stojnih valova (SWR) na bližem kraju koji je priključen na izlaz predajnika. Mjereni komad kabla neka bude što duži



Sl. 19-10. Vertikalna četvrtvalna antena. Titrajni krug L_1C_1 je u predajniku. Zavojnica L_2 služi za vezu antene s tim titrajnim krugom. Krivulje prikazuju raspodjelu jakosti VF struje (izvučeno) i raspodjelu VF napona uzduž antene (crtice). Donji kraj antene mora biti spojen sa zemljom

Na kraju koji je u kontaktu sa zemljom, visokofrekventni napon je uvijek jednak nuli. Maksimalnu vrijednost postiže napon na vrhu antene, kako to pokazuje crtkana krivulja na sl. 19-10. Raspodjela jakosti visokofrekventne struje prikazana je izvučenom krivuljom. Vidimo da je pri vrhu antene jakost VF struje jednaka nuli. VF struja je najjača uz samu zemlju.

Spoj sa zemljom mora biti osobito dobar. Metalni štap, dužine 1 do 1,5 m, koji je jednostavno zabijen u zemlju blizu antene, obično nije dovoljan, osim ako vodljivost tla nije izuzetno velika. Sasvim pouzdano uzemljenje za četvrtvalnu antenu može se načiniti tako da se najmanje tri ili više žica, dugačkih jednu do tri dužine vala, zakopa u zemlju. Počevši od podnožja antene, iskopaju se kanalići, duboki

najmanje 15 cm, zvjezdoliko raspoređeni, kao paoci kotača. U svaki kanalić položi se bakrena ili aluminijska žica, debljine barem 2 mm. Kod podnožja antene sve se žice međusobno spoje i kanalići zatrpaju.

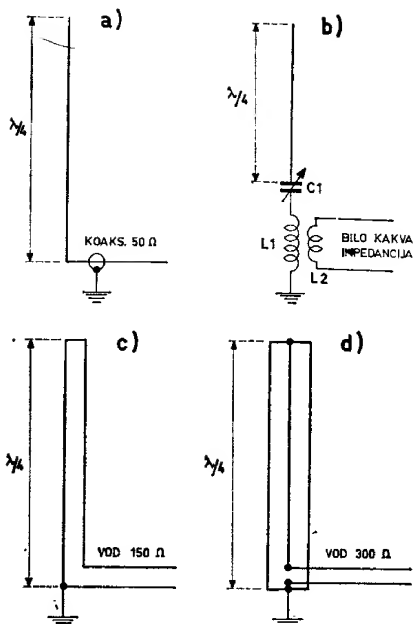
Nikola Tesla je još 1892. godine, prigodom svog predavanja u Londonu, kao i početkom 1893. godine u Philadelphiji, opisao svoje uspjehe u prenošenju bežičnih znakova na daljinu. Još onda je Tesla opisao svoj antenski sistem koji se sastojao od žice, ukopane u zemlju, i druge žice koja je bila podignuta u visinu. Nema nikakve sumnje da Tesla potpuno zaslužuje da se vertikalna antena koja je jednim krajem uzemljena naziva njegovim imenom. Unatoč toga, u većini radio-tehničkih knjiga takvu antenu nazivaju »Marconi-jevom« antenom. Marconi (čitaj: Markoni) je takvu antenu upotrebljavao *poslije* Tesle!

Nekoliko modernih varijanti *Tesline vertikalne antene* vidimo na sl. 19-11.

Između antene i predajnika redovito se mora staviti neki antenski kabel. Četvrtvalnoj anteni, prema sl. 19-11a, visokofrekventna energija dovodi se koaksijalnim kablom. Donji kraj vertikalnog antenskog štapa je spojen na unutarnji vodič, dok je vanjski oklop kabla uzemljen.

Vertikalna antena na sl. 19-11b pobuđuje se dvojnim vodom bilo kakve impedancije preko induktivno vezanih zavojnica L_2 i L_1 . Resonancija se postiže promjenljivim kondenzatorom C_1 .

Dvije vertikalne, međusobno paralelne žice ima antena na sl. 19-11c. Jedna od njih je uzemljena, kao i jedan kraj dvojnog voda impedancije 150 Ω .



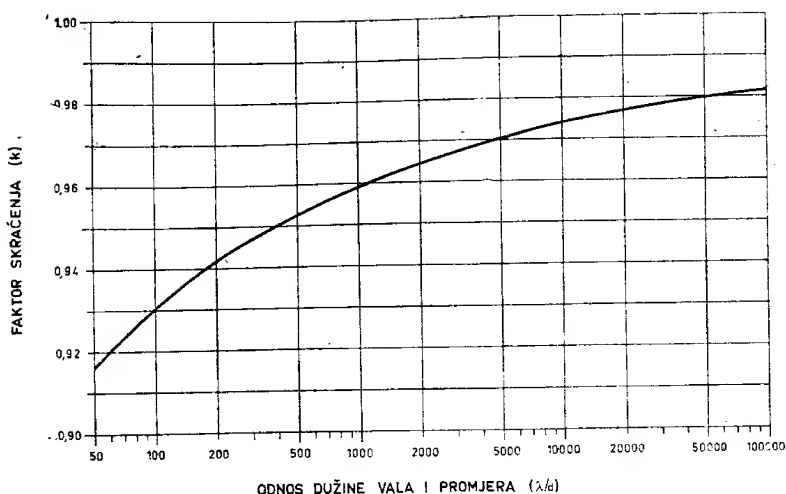
Sl. 19-11. Nekoliko različitih vrsta četvrtvalnih antena. Vidi tekst

Tri paralelne žice, dugačke četvrtinu dužine vala, također mogu poslužiti kao antena, prema sl. 19-11d. Sve tri žice su na svom gornjem kraju međusobno kratko spojene. Na donjem kraju dvije žice su uzemljene, dok se na treću spaja dvojni vod impedancije 240 do 300 Ω .

Dužinu četvrtvalne antene možemo izračunati ovako:

$$\text{dužina (metri)} = k \frac{75}{\text{frekvencija (MHz)}}$$

Slovom k označen je tzv. *faktor skraćanja*, ovisan o upotrebljenom materijalu. Kod žica, štapova ili cijevi faktor skraćanja ovisi o odnosu dužine vala i promjera, prema dijagramu na sl. 19-12. Taj faktor za žice običnih debljina iznosi između 0,96 i 0,99. Sa povećanjem frekvencije i promjera antenskog vodiča k postaje manji.



Sl. 19-12. Ovisnost faktora skraćivanja »k« o različitim odnosima između dužine vala i promjera antenskog vodiča

Poluvalna antena

Najtipičniji predstavnik poluvalnih antena je *dipol* (sl. 19-13). Običan, jednostruki dipol od žice ima dužinu:

$$\text{Dužina dipola (metri)} = \frac{150}{\text{frekvencija (MHz)}} = 0,97 \frac{150}{\text{frekvencija (MHz)}}$$

Dipol je načinjen iz dva jednaka komada žice, koji su jedan od drugoga izolirani antenskim izolatorom. Jednaki antenski izolatori nalaze se i na oba kraja antene.

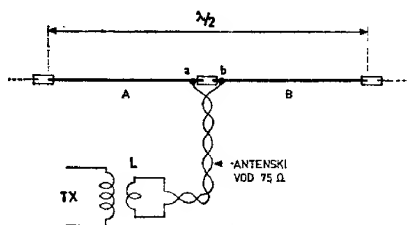
U sredini dipola, na tačke *a* i *b*, spaja se antenski vod kojemu karakteristična impedancija treba da bude 70 do 75 Ω. Ako dužina toga voda ne treba biti velika, može poslužiti i upređena dvostruka žica kakva redovito služi kod različitih, »običnih« električnih sprava. Svojim drugim krajem antenski je vod spojen na zavojnicu *L*, postavljenu u blizini zavojnice izlaznog titrajnog kruga u predajniku *TX*.

Svaka se poluvalna antena može postaviti ili horizontalno ili vertikalno. Vrijednost impedancije u sredini antene, među tačkama *a* i

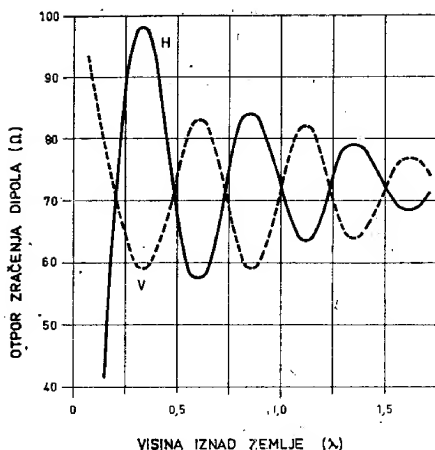
b, naziva se *otpor zračenja dipola* i ovisi o visini antene iznad zemlje, prema sl. 19-14. Krivulja *H* na tome dijagramu pokazuje da se otpor zračenja najprije jače, a onda sve manje mijenja, ako horizontalni dipol pomalo odmičemo od zemlje.

I vertikalni dipol (krivulja *V*) ima otpor zračenja koji ovisi o visini iznad zemlje. Zanimljivo je da kod njega otpor zračenja ima istu vrijednost od 70 do 75 Ω u jednakim visinama od zemlje kao i kod horizontalnog dipola.

Malom promjenom visine može se postići izjednačenje otpora zra-



Sl. 19-13. Običan jednostruki dipol, napajan u svojoj sredini upređenim dvojnim vodom karakteristične impedancije 70 do 75 Ω



Sl. 19-14. Utjecaj visine dipola iznad zemlje na otpor zračenja. Krivulja *H* vrijedi za horizontalni, krivulja *V* za vertikalni dipol. U vrlo velikoj udaljenosti od zemlje imao bi otpor zračenja vrijednosti 70 do 75 Ω

čenja samog dipola sa karakterističnom impedancijom upotrebljenog antenskog voda. Na taj način je osigurano i najbolje prilagođenje uz potpunu odsutnost stojnih valova na antenskomvodu, uz *SWR* jednak jedinici.

O praktičkim primjenama dipola kod različitih tipova antena još ćemo kasnije govoriti.

SPAJANJE ANTENSKOG VODA SA DAVAČEM

Priključivanje koaksijalnih kabela

Svaka antena može biti optimalno prilagođena na antenski vod, kojim se napaja visokofrekventnom energijom, samo kod jedne frekvencije. Za radio-amaterske veze treba frekvenciju mijenjati unutar pojedinih opsega, s jednog kraja na drugi. Tada ni odnos stojnih valova ne može ostati 1 : 1. Kod nekih, osobito kod tzv. »multiband« antena, može *SWR* kod frekvencija

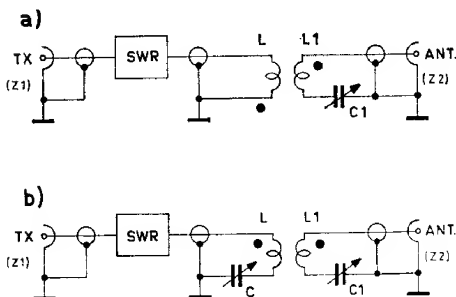
prema krajevima nekih opsega porasti na 3 : 1 ili više. U takvim slučajevima neki predajnici ispravno rade samo na određenim frekvencijama, dok ih je teško ili nemoguće ispravno opteretiti na početku ili na kraju »banda«.

U takvim situacijama pomažu uređaji shematski prikazani na sl. 19-15. Njih treba staviti između antenskog izlaza predajnika (*TX*) i antenskog voda (*ANT*). Korisno je dodati i pokazivač stojnih valova, tzv. *SWR*-metar ili »reflektometar«.

Zavojnica *L* (sl. 19-15a), treba da ima takav induktivitet da je njen induktivni otpor (induktivna reakcija) za odabrani opseg frekvencija jednak Z_1 , npr. 60 Ω . Induktivna veza između zavojnica *L* i L_1 mora biti promjenljiva.

Ulazna impedancija koaksijalnog antenskog kabela, priključenog kod *ANT* može imati — uz *SWR* od 3 : 1 do 4 : 1 — stvarnu priključnu vrijednost impedancije Z_2 koja je 3 do 4 puta različita od nazivne (nominalne) vrijednosti za upotrijebljenu vrst kabela. Ako je npr., nazivna vrijednost impedancije antenskog kabela 60 Ω , zavojnica L_1 neka za odabrani opseg frekvencija ima induktivni otpor oko 120 Ω . Kapacitivni otpor (kapacitivna reaktancija) kondenzatora C_1 mora biti oko 100 Ω kod njegovog maksimalnog kapaciteta.

Ako ne želimo mijenjati međusobni induktivitet zavojnica *L* i L_1



Sl. 19-15. Priključivanje nisko-omskog koaksijalnog kabela (50 do 75 Ω) na izlaz davača *TX*

promjenom razmaka među njima; ako umjesto toga želimo dodati promjenljivi kondenzator C , prema sl. 19-15b, moramo upotrebiti dvije jednake zavojnice, $L = L_1$, i dva jednaka promjenljiva kondenzatora, $C = C_1$. Za njihove induktivitete, odn. kapacitete vrijedi ono što smo o tome upravo govorili.

Uz malo vježbe lako ćemo postići $SWR = 1:1$ bilo gdje u opsegu. Tako će nam predajnik biti uvijek optimalno opterećen.

»Baluni« i transformatori impedancije

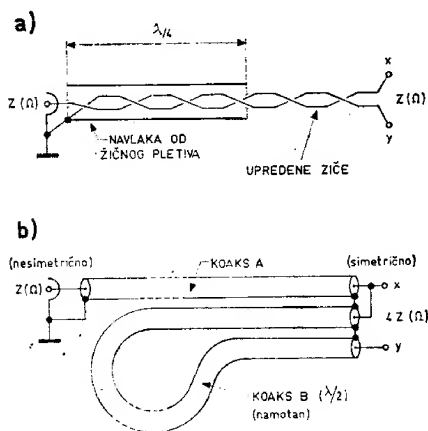
Dipol, napajan u sredini pomoću upredenog dvojnog voda, prema sl. 19-13, simetrična je naprava, ne samo mehanički već i električki. Obje žice koje antenu vežu sa predajnikom imaju određen visokofrekventni potencijal. Za takve antenske vodove kažemo da su *simetrični*. Njih bismo doduše mogli priključiti i na koaksijalnu priključnicu nekog predajnika, ali to ne bi ostalo bez posljedica. Koaksijalna priključnica je *nesimetrična*. Visokofrekventni potencijal postoji samo na njenom srednjem kontaktu. Zato bi jedna od žica dvojnog voda ostala uzemljena, što bi se odrazilo i na nepravilnom, nesimetričnom pobađivanju antene!

U ovakvim slučajevima, kada treba iz nesimetrije izlaza preći na simetriju antenskog voda (ili obrnuto!) pomažu tzv. »baluni«. Ime »balun« je nastao skraćivanjem i spajanjem dviju engleskih riječi: »BALanced« (u ravnoteži, simetričan) i »UNbalanced« (koji nije u ravnoteži, nesimetričan).

Jednostavan balun za napajanje dipola upredenim dvojnim vodom nacrtan je na sl. 19-16a. Na onaj kraj voda, koji se priključuje na nesimetrični izlaz predajnika, treba staviti navlaku od metalnog pletiva. To može biti žično pletivo, skinto sa nekog starog koaksijalnog

kabela ili nešto slično, npr., za nuždu, komad bakrene ili aluminijske cijevi. Dužina takvog oklopa neka bude četvrtina dužine vala za srednju frekvenciju određenog opsega. Faktor skraćivanja treba uzeti iz dijagrama na sl. 19-12. Jedna žica dvojnog voda spaja se na srednji kontakt koaksijalne priključnice. Druga žica i četvrtvalna navlaka spajaju se na uzemljeni dio priključnice.

Nekad može biti potrebno, kako ćemo kasnije vidjeti, da se pređe sa nesimetrije na simetriju i da se ujedno poveća impedancija na simetričnom kraju. Takvom zahtjevu odgovara balun na sl. 19-16b. Na nesimetričan antenski izlaz predajnika impedancije Z , spaja se po volji dug koaksijalni kabel A koji je za tu impedanciju predviđen. Komad koaksijalnog kabela B je poluvalni transformator impedan-



Sl. 19-16. Prelaz sa nesimetričnih priključnica na simetrične pomoću tzv. »baluna«: a) četvrtvalni balun u obliku navlake od žičnog pletiva ili cijevi, uz nepromijenjenu impedanciju; b) balun sa poluvalnim transformatorom impedancije, načinjeni iz komada koaksijalnog kabela, uz povećanje impedancije u odnosu 1:4

cije. Dužinu mu odredimo iz formule:

$$\text{Dužina (metara)} = \frac{100}{\text{frekvencija (MHz)}}$$

Ovo vrijedi uz pretpostavku da je faktor skraćanja za koaksijalni kabel 0,66 (što je najčešće).

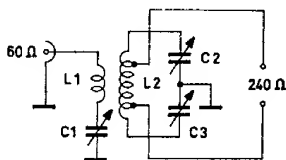
Ako oklopna pletiva i unutrašnje žice koaksijalnih kabela *A* i *B* spojimo prema sl. 14-16b, na tačke *x* i *y* može se priključiti potrošač četverostruke impedancije ili neki odgovarajući dvojni vod. Uz upotrebu koaksijalnih kabela od 60 Ω izlazna impedancija je 240 Ω.

Sličan učinak, na drugačiji način, može se postići sklopom zavojnica i kondenzatora (sl. 19-17). Zavojnica *L*₁ ima, za odabrani opseg frekvencija, vlastiti induktivni otpor oko 120 Ω. Kondenzator *C*₁ može za amaterske kratke valove imati maksimalan kapacitet od 360 pF. Za 80-metarski opseg bit će potrebno dodati mu paralelni kondenzator od 200 do 300 pF.

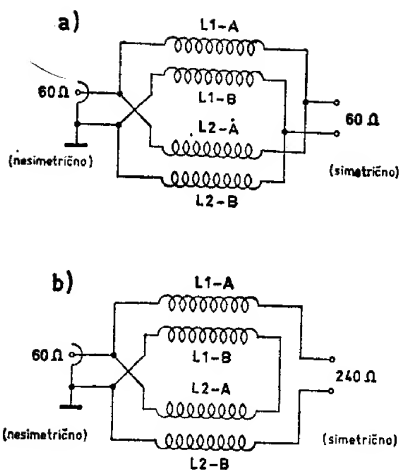
*C*₂ i *C*₃ pripadaju istom dvostrukom promjenljivom kondenzatoru od 2×150 pF. Razmak između njihovih ploča mora odgovarati izlaznoj snazi predajnika, to znači da taj kondenzator mora biti onakav koji bismo inače stavili u izlaz samog predajnika.

Zavojnica *L*₂ mora se odabrati tako da sa kapacitetima *C*₂ i *C*₃ resonira na odabranim frekvencijama. Simetrične odvojke treba tako dugo mijenjati, dok se postigne najpovoljniji SWR.

Širokopojasni balun (sl. 19-18) koji se može upotrebiti na svim



Sl. 19-17. Prelaz od nesimetričnog izlaza (60Ω) na simetrični antenski dvojni vod više impedancije (240 Ω)



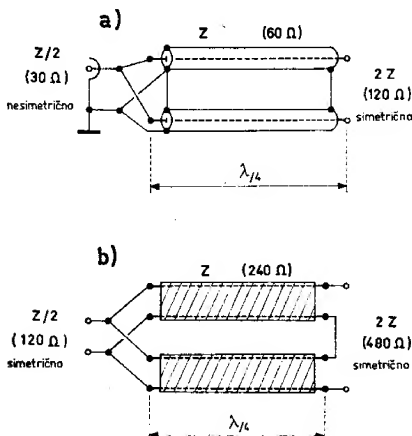
Sl. 19-18. Širokopojasni balun za sve kratkovalne opsege od 3,5 do 30 MHz: a) za prelaz od nesimetrije na simetriju bez promjene impedancije; b) za prelaz od nesimetrije na simetriju sa četverostručenjem impedancije. Vidi tekst

kratkovalnim frekvencijama od 3,5 do 30 MHz, ima dvije dvostruke zavojnice *L*₁ i *L*₂. Svaka od njih ima po 2×16 zavoja. Zavoji *L*₁-*A* su namotani između zavoja *L*₁-*B*, jednako kao zavoji *L*₂-*A* između zavoja *L*₂-*B*. Za srednje snage KV predajnika može promjer svake zavojnice biti 4 do 6 cm. Dvije bakrene žice debele 1,5 do 2 mm, namataju se jedna uz drugu tako da među žicama posvuda ostane razmak koji je otprilike jednak debljini žice. Ako krajeve žica jedne i druge dvostruke zavojnice spojimo kao na sl. 19-18a, postići ćemo simetriziranje bez transformacije impedancije. Spojimo li krajeve žica prema sl. 19-18b, postićemo simetriziranje uz četverostruku impedanciju.

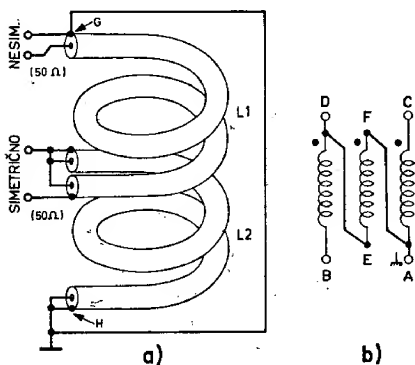
Dva baluna sličnih svojstava, načinjeni od četvrtvalnih komada koaksijalnog kabela ili plosnatog dvojnog voda (pazi na faktor skraćanja!), također mogu kojiput poslužiti za prilagođenje. Prvi od njih

(sl. 19-19a) ima nesimetričan ulaz ($30\ \Omega$) i simetričan izlaz ($120\ \Omega$). Drugi (sl. 19-19b) ima simetričan ulaz ($120\ \Omega$) i simetričan izlaz ($480\ \Omega$).

Širokopojasni balun, načinjen iz koaksijalnog antenskog kabela, shematski je nacrtan na sl. 19-20a. Dva komada 50-omskog koaksijalnog



Sl. 19-19. Transformacija impedancije: a) pomoću koaksijalnog kabela; b) pomoću plosnatog dvojnog voda



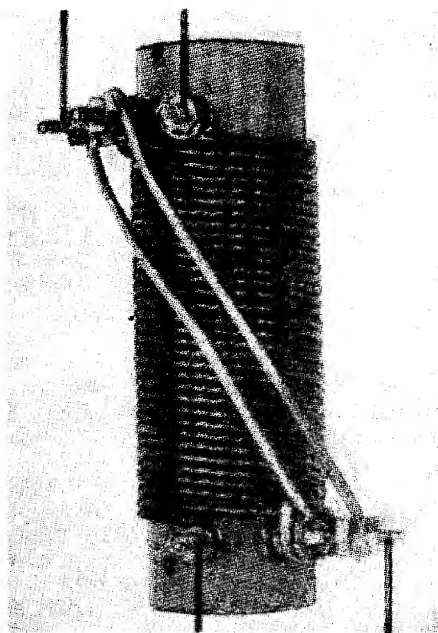
Sl. 19-20. Širokopojasni baluni za kratkovalne opsege: a) balun, namotan iz komada koaksijalnog kabela. Vidi tekst: b) princip baluna, načinjenog sa trifilarnim namotajem. Nesimetrični priključci su A i B, simetrični su C i D

kabela, dugačkih po 2,5 m, sastavljeni su u sredini tako da su im srednji vodiči međusobno spojeni i onda još sa metalnim pletivom jedne polovice. Toj polovici kabela, u kojoj je tako načinjen kratak spoj između srednjeg vodiča i opleta, načinimo isto i na njenoj suprotnoj strani (na crtežu, sl. 19-20a, dolje). Nakon toga oba dijela kabela namotamo tako da unutrašnji promjer bude oko 17 cm. Bit će približno 9 zavoja. Tako dobivenu zavojnicu učvrstimo lijepivom trakom na više mjesta da se ne može razmotati. Na kraju treba još međusobno spojiti opleta kod nesimetričnog ulaza, tačku G, sa suprotnim krajem kabela, u tački H. Simetrični priključak je u sredini, između jedne i druge kabselske polovice baluna. Prenos je 1:1, što znači da impedancija ($50\ \Omega$) ostaje nepromijenjena. Takav balun će najbolje raditi u opsegu između 6 i 30 MHz. Želimo li balun za niže frekvencije, treba uzeti više kabela i namotati više zavoja.

Bolji širokopojasni balun, koji će vrlo dobro funkcionirati u svim amaterskim kratkovalnim opsezima, od 3,5 do 30 MHz, mora imati feritnu jezgru. Ona može imati oblik štapa ili prstena. Snaga koju balun sa feritnom jezgrom može podnijeti ovisi o dimenzijama jezgre. Štapić od ferita ne bi smio biti tanji od 12 mm. Feritni prsten bi morao imati promjer veći od 2,5 cm. Tada bi se takav balun mogao upotrijebiti do snage oko 150 W.

Žica također ne smije biti pretanka. Kod 150 W snage i impedancije od $50\ \Omega$ jakost visokofrekventne struje doseže blizu 2 A. Prema tome bi debljina žice morala biti najmanje 1 mm, ali zbog »skin-efekta« (VF struje teku po površini!) dobro je da je i deblja!

Balun se na feritnu jezgru namata istovremeno sa tri žice (»trifilarno«), slažući ih jednu uz drugu. Broj zavoja je teško unaprijed »pogoditi« jer to ovisi o upotrebljenoj feritnoj jezgri. Potrebno je malo



Sl. 19-21. Izgled trifilarnog baluna s prenosom 1:1, namotanog na valjku od polivinilklorida (PVC) ili na papirnatom valjku. Vidi tekst

eksperimentiranja. Kao putokaz neka bude napomena da namotaj mora imati vlastitu resonanciju usred opsega koji se želi obuhvatiti. Bit će to negdje između 6 i 10 zavoja. Pri tom će nekoliko mjerenja dipmetrom sigurno dovesti do cilja. — Žice treba spojiti prema sl. 19-20b. Transformacija impedancije je 1:1.

Zanimljivi su i lako se grade slični baluni, bez feritne jezgre, prema sl. 19-21. Mogu se načiniti u dvije varijante.

Za opseg između 6 i 30 MHz tijelo za namatanje baluna je od polivinilklorida (PVC), promjera 2,7 cm. Ima 10 »trifilarnih« zavoja. Debljina žice ovisna je o snazi koju mora balun prenijeti. Ako žica ima promjer od najmanje 1,5 do 1,7 mm, snaga može biti i blizu 1 kW!

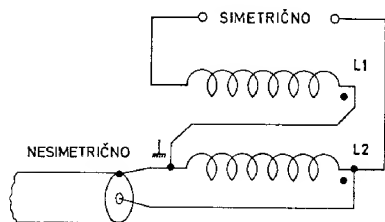
Balun na PVC valjku, promjera 6 cm, namotan trifilarno sa 7 za-

voja, žica uz žicu, odgovarat će za opseg između 2,5 i 15 MHz.

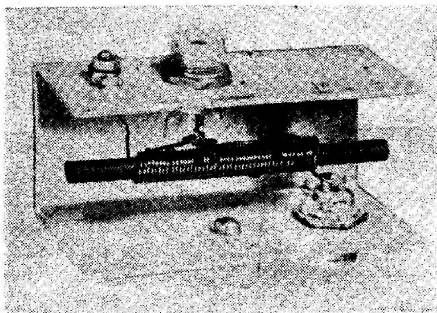
Žicu treba učvrstiti, prema sl. 19-21, na dva niza vijaka sa maticama i spojiti krajeve prema sl. 19-20b.

Na jednakim tijelima, od ferita ili od PVC, mogu se baluni načiniti i sa »bifilarnim« namotajima koje treba onda spojiti prema sl. 19-22. Budući da su zavojnice L_1 i L_2 spojene u seriju, simetričan se napon udvostručio a impedancija početve-rostručila. Na sl. 19-23 je primjer takvog baluna koji je namotan na feritnom štapu, kakav inače služi kao »antena«. Na sl. 19-24 takav je balun namotan na feritnom prstenu.

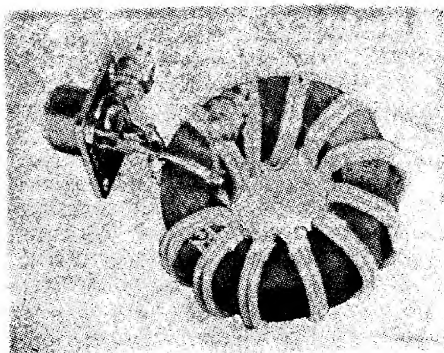
Ima slučajeva kad nam je potreban i drukčiji balun, s prenosom koji nije ni 1:1 ni 1:4. Kako postići neki drugi prenos (transformaciju) impedancije? Pogledajmo sl. 19-25. Sa svojim zavojnicama L_1 i L_2 sjeća na sl. 19-22. Pretpostavimo da nam je potrebna transformacija, od nesimetričnog priključka na simetričan, u omjeru 1:6. Impedancije se odnose kao kvadrati brojeva zavoja. Zato ćemo izračunati: $\sqrt{6}=2,45$ To znači da između priključnica U i V mora biti 2,45 puta više zavoja nego između Z i Y. Treba prebrojati zavoje $L_1 + L_2$. To je $11+11=22$. Taj broj zavoja podijelimo sa 2,45 i dobijemo: $22:2,45=8,98$. Ovo možemo zaokružiti pa izlazi 9. Dakle moramo kod



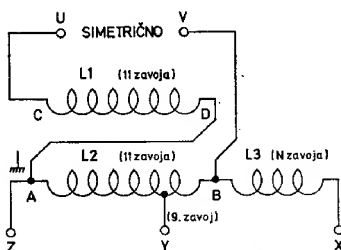
Sl. 19-22. Princip bifilarnog baluna za transformaciju impedancije u omjeru 1:4. Ako je namotan na feritnu jezgru balon je širokopojasan. Opis u tekstu. Vidi i sljedeće dvije slike



Sl. 19-23. Izgled bifilarno motanog, širokopojasnog baluna, namotanog na feritnom štapu, prema sl. 19-22



Sl. 19-24. Bifilarno motani balun na prstenu od ferita, prema sl. 19-22



Sl. 19-25. Primjer kako se može bifilarnim namatanjem širokopojasnog baluna postići bilo kakav omjer transformacije. Opis u tekstu

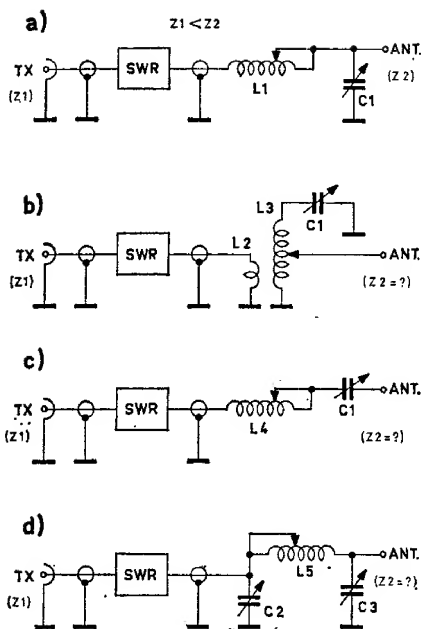
9. zavoja načiniti odvojak za priključnicu Y.

Evo i drugog primjera. Recimo, potrebna je transformacija u omje-

ru 1 : 2,5. Drugi korijen iz 2,5 je 1,58. Ako sada, po uzoru na predašnji račun podijelimo 22 sa 1,58 izlazi: 13,9. Taj broj smijemo zaokružiti pa imamo: 14. Moramo, prema tome, dodati još nekoliko zavoja kao L_3 . Koliko? — Od A do B ima 11 zavoja. Moramo dakle dodati još 3 zavoja i načiniti spoj na priključnicu X. Između Z i X se priključuje nesimetričan ulaz da između U i V dobijemo dva i po puta povećanu impedanciju!

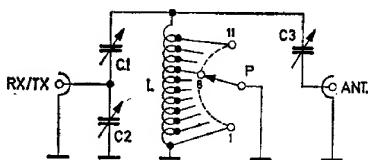
Prilagođivači impedancije sa primjenom induktiviteta i kapaciteta

Poseban problem se javlja, kad je potrebno bilo kakvu žičnu antenu priključiti na normalan, niskomski izlaz kratkovalnog predajnika. Taj se problem može riješiti na jedan od načina, prikazanih na sl. 19-26. Koji ćemo način odabrati, ovisi o vrsti priključene antene i o dužini njenih žica. Prvi primjer, (sl. 19-26a) vrijedi za priključak antene ANT koja ima visoku impedanciju Z_2 . Ostali primjeri su za impedancije koje su nepoznate pa mogu biti niske i visoke. Što je bolje u pojedinom slučaju, odredit ćemo eksperimentom. Za rad na kratkim valovima, između 3,5 i 30 MHz, kondenzator C_1 ima maksimalan kapacitet oko 200 pF, sa dovoljno velikim razmakom među pločama, ovisno o snazi. Kondenzatori C_2 i C_3 mogu imati maksimalni kapacitet od po 500 pF. Odvojak na zavojnicama L_1 , L_4 i L_5 odabire se prema frekvenciji na kojoj se želi postići resonancija. Zavojnica L_2 neka ima toliki induktivitet da njen induktivni otpor na radnoj frekvenciji odgovara izlaznoj impedanciji Z_1 predajnika. Razmak između L_2 i L_3 mora biti promjenljiv. Odvojak na zavojnici L_3 odabire se za najbolje prilagođenje na antenski vod. Prilagođenje je optimalno ako pokazivač stojnih valova (SWR) pokazuje vrijednost 1 : 1.



Sl. 19-26. Ako antenski vod ima samo jednu žicu, možemo je na niskomski izlaz davača TX priključiti na jedan od ova četiri načina

Isti prilagođavači (sl. 19-26) mogu se upotrebiti i onda ako se antena sa predajnikom spaja putem koaksijalnog kabla. Poznati su pod nazivom »antenska kutija« ili »prilagodna kutija«, prema prevodu od naziva na engleskom jeziku »match box«. Redovito se nastoji da »kutija« sadrži sve glavne dijelove koji su u takvoj međusobnoj vezi da mogu u najviše slučajeva omogućiti dobro prilagođenje.

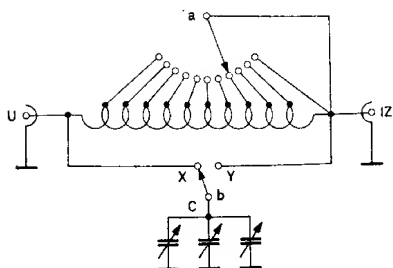


Sl. 19-27. Univerzalni »transmatch«, prilagođivač bilo kakve antene na primopredajnik (RX/TX) ili davač. Opis u tekstu

Na sl. 19-27 je shema prilagodnog uređaja koji se dosta često upotrebljava. I neke tvornice tako grade svoje prilagođivače. Promjenljivi kondenzator, C_1 i C_2 , je dvostruki, kapaciteta oko 2×250 pF, dok je C_3 jednostruki promjenljivi kondenzator jednakog maksimalnog kapaciteta (oko 250 pF ili više). Zavojnica L_1 ima maksimalni induktivitet oko 25 μ H. Preklopnikom b može se dio zavoja kratko spojiti da bi induktivitet, prema potrebi, bio manji. Svi sastavni dijelovi, osobito kondenzatori, moraju biti svojom konstrukcijom predviđeni za opterećenja kojima ih kanimo izložiti za vrijeme rada. Oni moraju odgovarati onima koji su ugrađeni u izlazni stupanj predajnika!

»Antenska kutija«, prema sl. 19-28, odgovara po svojoj shemi donekle sklopu za prilagođivanje na sl. 19-26d. Ovdje nema promjenljivog kondenzatora na dva mjesta, na ulazu i na izlazu. Tu je samo jedan promjenljivi kondenzator, ali se on može preklopnikom b uključiti ili na onu stranu koja je u vezi sa predajnikom (U) ili na onu koja je u vezi sa antenom (I). Zavojnica je motana na promjeru od 2,5 cm i ima ukupno 22 zavoja. Svaka dva zavoja je načinjen odvojak. Odvojci su spojeni na preklopnik a kojim se može dio zavoja kratkim spojem isključiti i tako smanjiti induktivitet. Promjenljivi kondenzator je, barem kod naših pokušaja da gradnju takvog uređaja, morao imati veliki kapacitet. Morali smo ugraditi trostruki promjenljivi kondenzator 3×500 pF i sve tri sekcije spojiti paralelno! Budući da smo upotrebili normalan prijemni promjenljivi kondenzator, snaga predajnika, koji smo smjeli priključiti, mogla je biti najviše pedesetak vata.

Između prilagođivača i predajnika treba, u svakom slučaju, uključiti SWR-metar. Prilagođenje je postignuto ako taj mjerni instrument pokaže da je $SWR = 1$. U tome slučaju je moguće optimalno opteretiti



Sl. 19-28. Jednostavna »antenska kutija« (»Match Box«) za prilagođenje antene na predajnik ili na prijemnik. C = trostruki promjenljivi kondenzator kojemu su sve tri sekcije spojene paralelno. Vidi tekst

predajnik i iz njeg »izvući« svu korisnu snagu koju on može dati. Ovo je osobito važno za savremene tranzistorske predajnike koji na svome izlazu nemaju mogućnosti za ugađanje i prilagođenje »potrošaču«. Današnji izlazni stupnjevi s tranzistorima su građeni u tzv. širokopojasnoj tehnici i na svom izlazu imaju filtere. Predviđeni su za opterećenje od 50 Ω . Ukoliko takvo opterećenje ne pruža sam antenski sistem, može doći do smanjenja izlazne snage i, što je gore od toga, mogu stradati izlazni tranzistori (vidi u poglavlju 11 i 12).

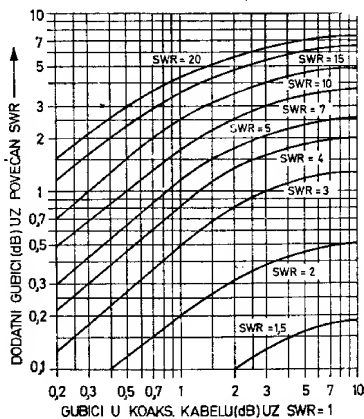
O mjerenju odnosa stojnih valova i o SWR-metrima vidi u poglavlju 21.

Za prenos visokofrekventne snage od predajnika do antene, kroz koaksijalne kabele, važno je da SWR bude što bliže jedinici, tj. da stojnih valova u kabelu po mogućnosti uopće ne bude. To se kod određene antene i kabela može potpuno ostvariti samo kod jedne frekvencije, uz uvjet da je kabel dobro prilagođen samoj anteni s jedne i predajniku s druge strane. Prevelika vrijednost za SWR uzrok je povećanim gubicima.

Svaki koaksijalni kabel, sam po sebi, prigušuje snagu i do antene stiže uvijek manje nego je u kabel poslano! Što je frekvencija veća,

veći su i gubici u kabelu. Koaksijalni kabel je, osobito za najviše frekvencije, samo »za nuždu« dobar, jer bi gubici u drukčijim vodovima za napajanje antene (npr. u dvojnim vodima!) bili znatno manji. Ipak pribjegavamo upotrebi koaksijalnih kabela jer je nužno izbjeći smetnje koje bismo svojim signalom mogli proizvesti i onemogućiti rad drugim radio-stanicama, radio-aparatima i televizorima.

Na sl. 19-29 je grafički prikaz iz kojega možemo vidjeti kako rastu gubici uz povećani SWR. Na tablici 19-1 vidimo da je prigušenje snage u 100 m dugom kabelu tipa RG-58A/U, koji se općenito smatra dobrim za kratke valove, na frekvenciji od 30 MHz već 6,4 dB. Antena obično nije udaljena 100 metara. Prosječna dužina kabela će biti oko 25 m. U 25 m dugom komadu istog koaksijalnog kabela bit će gubici četiri puta manji, tj. 1,6 dB, uz SWR = 1. Ako je u kabelu SWR veći, npr. 3, na sl. 19-29 čitamo da povećanje gubitaka iznosi 0,7 dB. Ovo se mora dodati gubicima koji bi bili i uz »savršeno« pri-



Sl. 19-29. U koaksijalnom kabelu ima uvijek više ili manje gubitaka. Ako kabel nije prilagođen anteni, postoje u kabelu stojni valovi i gubici postaju veći. Povećanje gubitaka, ovisno o SWR-odnosu pokazuje grafikon. Vidi tekst

лагоđenje: $1,6 + 0,7 = 2,3$ dB. Kakvo je značenje ovih brojeva?

Uz gubitak $-1,6$ dB ostaje $0,69$ snage, a uz $-2,3$ dB samo $0,59$. To znači slijedeće. Pošaljemo li kroz 25 metara dug kabel 100 W snage na frekvenciji 10 -metarskog amaterskog opsega, uz »savršeno« prilagođenje ($SWR = 1$), u antenu će stići samo 69 vata! Cijelih 31 vata snage propadne na zagrijavanje kabela! Ako prilagođenje nije »savršeno«, ako je $SWR = 3$, do antene će stići samo 59 W. Izgubljeno je 10 W više!

Još je i nezgodnija situacija kod UKV frekvencija. Za 432 MHz nema smisla upotrebiti kabel RG-58A/U. Treba upotrebiti bolji! Često se upotrebljava koaksijalni kabel RG-8A/U. U 100 m dugom komadu, uz $SWR = 1$, gubici kod 432 MHz dođu 16 dB. Ako je kabel dug samo 25 m, gubici su četiri puta manji: 4 dB. Povećanje gubitaka, uz $SWR = 3$, bit će za $1,1$ dB veći. Dakle: uz najbolje moguće prilagođenje gubici su vrlo veliki. Od 10 W koji su izašli iz predajnika do antene će — kroz kabel RG-8A/U dug 25 m — stići (-4 dB = $0,4$) samo 4 W. Uz lošije prilagođenje ta je snaga još manja ($-5,1$ dB = $0,31$) i iznosi $3,1$ W.

Kad je tome tako, ne treba se čuditi da UKV veze »idu« bolje »iz portabla«. Nije samo položaj povoljniji negdje na planini. Antena je redovito bliže predajniku, kabel je znatno kraći i gubici su manji. Ako je »u portablu« upotrebljeno, npr. 5 m koaksijalnog kabela iste kvalitete, gubici su (u decibelima) 20 puta manji od 16 dB, tj. oni iznose $-0,8$ dB. Ostaje $0,83$ snage. Od 10 W na 432 MHz do antene će stići $8,3$ W. To je, uz dobro prilagođenje, više nego dvostruko od onoga u »HOME QTH«, sa istom snagom iz predajnika!

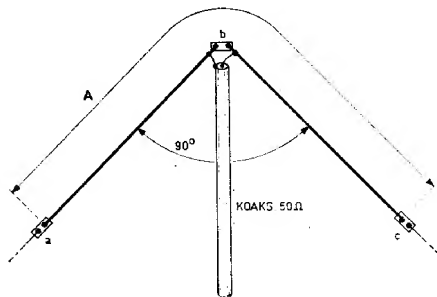
Koaksijalni kabel na tablici 19-1 označen kao »H-100«, mnogo je bolji za UKV, ali — nažalost — skuplji za amaterski džep.

NEKOLIKO JEDNOSTAVNIJIH KV ANTENA

Jednostruki dipoli

Upredene žice, kao na sl. 19-13, nisu baš najbolji antenski vod, osobito onda ako ne mogu biti kratke. Bolje je upotrebiti koaksijalni kabel, kao kod antene koju su nazvali »okrenuto V« (sl. 19-30).

Ova vrsta antene je osobito pogodna, kad nema dovoljno mjesta za razapinjanje 40 -metarskog ili 80 -metarskog dipola. Potreban je samo jedan visoki potporanj. Antenske žice stoje koso, pod kutem od 45° prema horizontalnoj ravni. Prema tome, kut između antenskih žica je 90° . Ukupna dužina antene A odgovara dužinama drugih poluvoltnih antena, uz uvjet da krajevi a i c budu barem tri metra iznad zemlje. Onaj tko na 80 -metarskom opsegu više želi održavati telegrafске veze načinit će antenu kojoj je dužina A tačno 41 m (rezonancija kod 3550 kHz). Za rad pretežno telefonijom neka antena bude kraća. Dovoljna je dužina od $39,5$ m (rezonancija oko 3700 kHz). Za 40 -metarski opseg dužina A može biti $20,6$ m (rezonancija oko 7050 kHz). Ako su krajevi antene bliže zemlji, ona mora biti nešto kraća.



Sl. 19-30. Antena »okrenuto V« ima manji otpor zračenja od običnog, horizontalnog dipola. Zato je treba napajati antenskim vodom niže impedancije (50Ω)

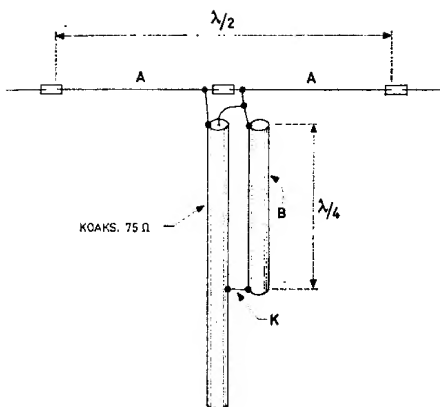
Za napajanje ove antene služi koaksijalni kabel koji ima karakterističnu impedanciju od $50\ \Omega$. Ako upotrebimo kabel od $75\ \Omega$ pogreška prilagođenja neće biti prevelika. U najgorem slučaju možemo očekivati da će SWR biti 1 : 1,5 ($50 : 75$), što nije sasvim loše. Više bi mogla smetati nesimetrija koaksijalnog kabla koji je direktno priključen na simetričnu antenu. Zbog toga se na vanjskom oklopu kabla pojavljuju visokofrekventni naponi, kabel također zrači i iskrivljuje zračenje samog dipola. Ako želimo izbjeći toj pojavi, moramo dodati neku vrstu baluna.

Pri gornjem kraju koaksijalnog kabla kojim se napaja dipol A-A (sl. 19-31) postavljen je još jedan komad istog kabla, B. Njegova »elekttrična« dužina mora biti jednaka četvrtini dužine vala. Geometrijsku dužinu mu treba odrediti prema vanjskom promjeru kabla, uzevši u obzir veličinu faktora k iz dijagrama (sl. 19-12).

Četvrtvalni komad kabla B spaja se svojim oklopnim pletivom na oklopno pletivo kabla za napajanje antene K (sl. 19-31). Gornji kraj oklopnog pletiva kabla B spaja se sa unutrašnjim vodičem kabla za napajanje i to predstavlja jednu tačku simetričnog napajanja. Drugu tačku predstavlja gornji kraj oklopnog pletiva samog kabla za napajanje. Budući da su naponi u tačkama napajanja na anteni jednaki i suprotnih faza, površinom kabla i dodatnog četvrtvalnog komada B teku jednako jake VF struje. One su također suprotnih faza. Zato se one poništavaju u tački K u kojoj su oba kabla međusobno kratko spojeni. Od tačke K na niže nema nikakvih visokofrekventnih struja na vanjskom dijelu kabla.

Pažljivi promatrač će primijetiti da kod kabla B nije iskorišten unutrašnji vodič. On jednostavno nije potreban. Oba kabla leže izolirano jedan uz drugi.

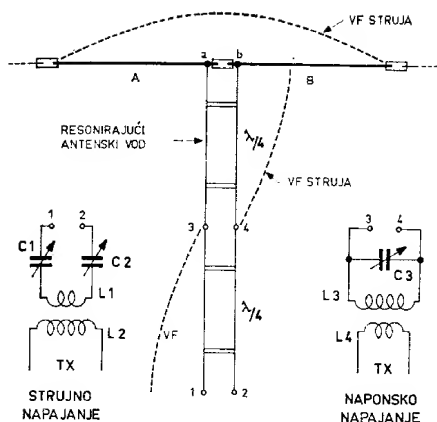
Kod svih koaksijalnih kabla, kao i kod dvojnih vodova sa poli-



Sl. 19-31. Koaksijalni kabel može se priključiti »simetrično« na dipol pomoću četvrtvalnog baluna koji je načinjen od istovrsnog kabla. Kod K je oklop jednog i drugog kabla međusobno spojen. Komad kabla B omogućuje simetričan priključak bez promjene impedancije

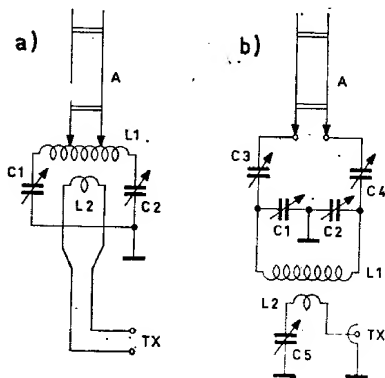
etilenskom izolacijom, moramo izbjeći stojne valove koliko je to bolje moguće da gubici u antenskom vodu budu što manji. Ako upotrebimo otvoreni dvojni vod, to neće biti potrebno. Otvoreni dvojni vod, ako je dobro načinjen, vrlo dobro podnosi visoke napone i veće jakosti struje. Zato se sa otvorenim dvojnim vodom antena može, bez osobitih gubitaka, napajati i uz vrlo velik SWR. Primjer za takvu vrstu napajanja dipola imamo na sl. 19-32.

U tačkama a i b dipola impedancija je malena i, prema tome, jakost VF struje je velika. Ako za napajanje upotrebimo otvoreni dvojni vod, on mora imati dužinu koja je jednaka određenom umnošku četvrtine dužine vala. Pri tome na gornjem kraju antenskog voda mora biti jakost VF struje maksimalna. Da se to postigne potrebno je takav antenski vod, ako je dugačak neparni broj četvrtina dužine vala ($\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4 \dots$), naponski napajati. Ako je dugačak parni broj četvrtina dužine vala ($2\lambda/4, 4\lambda/4 \dots$) treba ga strujno napajati.



Sl. 19-32. Horizontalni dipol, napajan otvorenim dvojnim vodom koji resonira, uz velik SWR. Treba ga pobuđivati ili strujno ili naponski, već prema dužini. Vidi tekst

Za strujno napajanje otvorenog dvojnog voda, u tačkama 1 i 2, zavojnica L_1 induktivno je vezana sa zavojnicom L_2 u predajniku TX. Promjenljivi kondenzatori C_1 i C_2 služe postizavanju resonancije na radnoj frekvenciji. Za tu istu radnu frekvenciju dužina antenskog voda jednaka je parnom broju četvrtina ili cijelom broju polovica dužine vala.



Sl. 19-33. Titrajni krugovi za strujno i naponsko napajanje resonirajućih dvojnih vodova

Za naponsko napajanje otvorenog antenskog dvojnog voda, u tačkama 3 i 4, može služiti titrajni krug L_3C_3 koji je induktivno vezan sa zavojnicom L_4 .

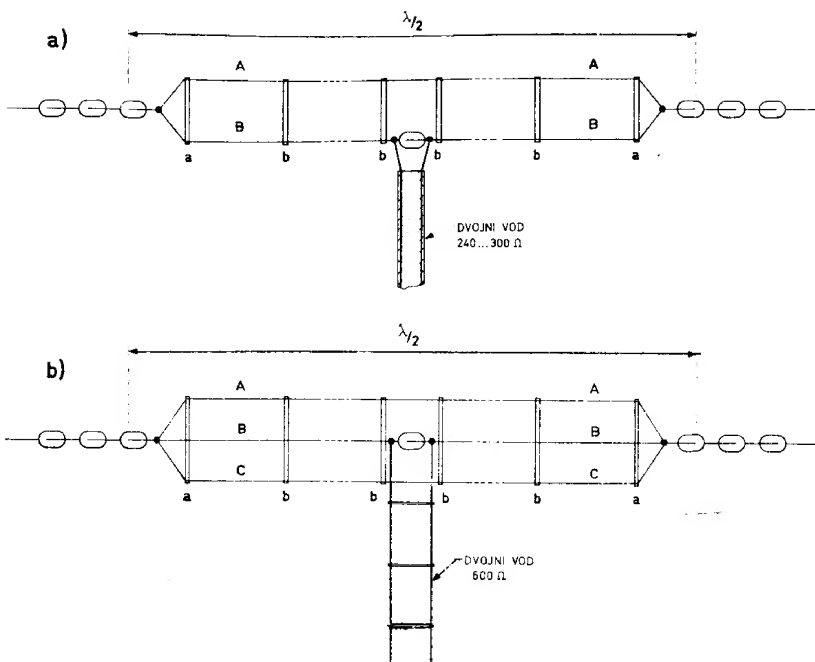
Pribor za napajanje može biti i univerzalan, prema sl. 19-33a. Ako su odvojci na zavojnici L_1 postavljeni bliže njenoj sredini, napajanje će biti strujno. Ako ih razmaknemo, prema krajevima zavojnice, napajanje je naponsko. Slično se može postići i sa četiri promjenljiva kondenzatora (sl. 19-33b). Ako su kondenzatori C_1 i C_2 sasvim otvoreni, njihovu prisutnost možemo zanemariti i resonanciju za strujno napajanje postići kondenzatorima C_3 i C_4 . Ako, međutim, kondenzatore C_3 i C_4 sasvim zatvorimo, a resonanciju postignemo kondenzatorima C_1 i C_2 , imamo naponsko napajanje.

Kod ovakvog napajanja antenski dvojni vod resonira pa je odnos stojnih valova (SWR) velik.

Dvostruki i trostruki dipol

Dvostruki dipol (sl. 19-34a) ima, osim običnog dipola B-B koji se napaja visokofrekventnom energijom, još jedan, A-A, jednake dužine. Izolatori u obliku štapića (a i b) osiguravaju stalan razmak između jednog i drugog dipola. Taj razmak neka bude između 10 i 25 cm; manji kod viših, veći kod nižih frekvencija. Žica neka bude debela 1,5 do 2 mm, a njenu dužinu treba mjeriti, kako je označeno na slici, od krajnjih tačaka unutar izolatora. Dvostruki dipol ima jednaku dužinu kao i jednostruki. Impedancija u tačkama gdje se priključuje vod za napajanje, tzv. otpor zračenja, četiri puta je veći nego kod jednostrukog dipola. Zbog toga za napajanje antene može poslužiti običan dvojni 300-omski vod.

Trostruki dipol (sl. 19-34b) ima i treću žicu. Otpor zračenja je deset puta veći nego kod jednostru-



Sl. 19-34. Višestruki dipoli: a) dvostruki dipol; b) trostruki dipol

kog dipola, pa se za napajanje može upotrebiti *otvoreni* dvojni vod od 600 Ω karakteristične impedancije.

Fuchs-ova antena

Ova, nekad veoma raširena i danas pomalo zaboravljena antena, dobila je ime po radio-amateru koji se zvao J. Fuchs (čitaj: Fuks). Ova se antena pobuđuje iz posebnog tzv. Fuchs-ovog titrajnog kruga L_1C_1 (sl. 19-35).

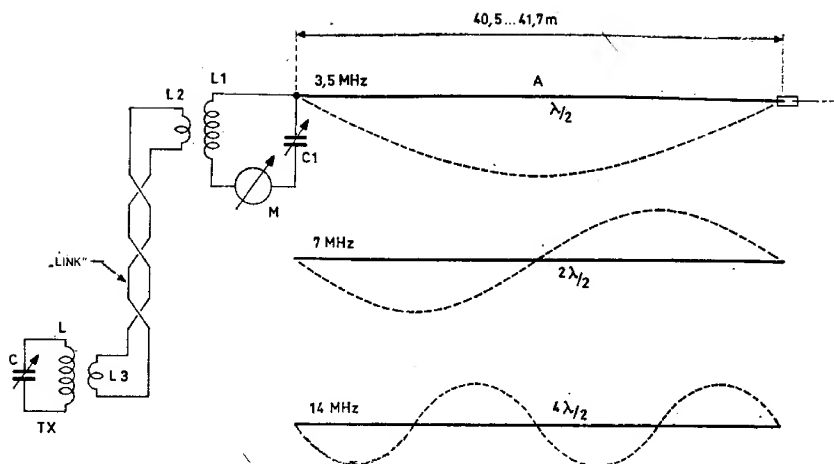
Između predajnika TX i titrajnog kruga L_1C_1 , koji je smješten u blizini jednog kraja antene, stavlja se tzv. »link«. To je komad upredene žice bilo kakve dužine koji je na svojim krajevima spojen sa zavojnicama za induktivnu vezu, L_2 i L_3 . Njihova udaljenost od L_1 , odnosno od L_3 , neka bude promjenljiva. Induktivni otpor (induktivna reaktancija) zavojnice L_2 i L_3 mora

odgovarati karakterističnoj impedanciji »linka«. Za »link« od upredjenih žica to je oko 70 do 100 Ω.

Zavojnica titrajnog kruga L_1 mora imati razmjerno velik induktivitet; kapacitet C_1 mora biti razmjerno malen, da resonancijom postignemo što viši pobudni napon za antenu. Kao grubo pravilo možemo zapamtiti: koliko metara ima dužina vala na radnoj frekvenciji, toliko pikofarada ima kapacitet C_1 . Prema tome dovoljno je, ako upotrebimo promjenljivi kondenzator od maksimalno 100 pF.

Mjerni instrument M je visokofrekventni ampermetar za 2 do 3 A. On pokazuje kada je postignuta resonancija.

Dužina antene A neka za radnu frekvenciju bude jednaka polovici dužine vala. Za 80-metarski opseg obično se uzima žica duga 40,5 m kao kompromisno rješenje za rad



Sl. 19-35. Fuchs-ova antena. Ona može resonirati na svojoj osnovnoj frekvenciji, ali također i na višim frekvencijama, npr. u 80, 40 i 20-metarskom opsega

telegrafijom i telefonijom između 3500 i 3800 kHz.

Ugodimo li titrajni krug L_1C_1 da resonira na dvostruku, četverostruku, ili općenito, na n -puta višu frekvenciju predajnika, moći ćemo sa istom antenom raditi na svim amaterskim kratkovalnim opsezima. Za takvu primjenu preporučuju dužinu antene od 41,7 m.

Windom antena, VS1AA i FD-4

Još nedavno je kod naših radio-amatera najraširenija antena bila upravo »vindomica« (sl. 19-36). To je zapravo horizontalni dipol koji se napaja preko jedne jedine žice. Taj antenski dovod ne resonira, na njemu nema stojnih valova, ako ga na antenu pravilno priključimo, u tački gdje je impedancija oko 600 Ω ($d = 0,18 \lambda$). Napajanje iz davača koji na svom izlazu ima filter sa zavojnicom i sa dva promjenljiva kondenzatora (»Collins«) lako je i jednostavno.

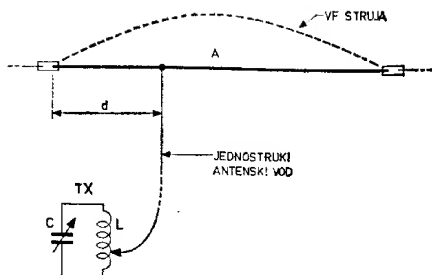
Za rad unutar 80-metarskog opsega meka dužina antene A bude 40,5 m. Udaljenost odvojka za priključak dovodne žice d onda treba biti 14,6 m, mjereno od kraja an-

tene. Ove vrijednosti se odnose na debljinu žice od 1,5 do 2 mm za antenu i za dovod.

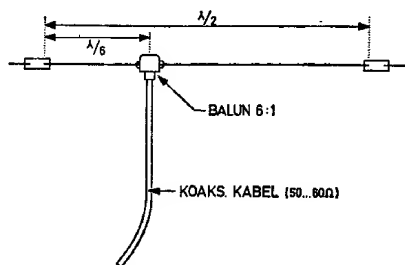
Varijanta Windom antene, kod koje dužina A iznosi 41,5 m, uz odvojak tačno na trećini dužine, tj. 13,5 m od kraja, naziva se »VS1AA« antenom. Sama antenska žica ima debljinu od 2 mm, dok dovod mora biti načinjen od tanje žice, npr. od 1 mm. Takva antena dopušta rad na svim amaterskim opsezima od 3,5 do 28 MHz.

Da se isključi radijacija samog antenskog dovoda, postoji mogućnost da se Windom antena napaja preko koaksijalnog kabela, uz primjenu odgovarajućeg baluna.

Teoretski je impedancija na mjestu napajanja Windom antene oko 600 Ω . To bi tako bilo kad bismo mogli »vindomicu« razapeti u vrlo velikoj udaljenosti od svih okolnih predmeta, ali u realnim okolnostima takva montaža antene ne može se ostvariti. Na mjestu napajanja antene će impedancija biti, u praksi, samo 300 do 400 Ω . Možemo, prema sl. 19-37, upotrebiti balun sa omjerom transformacije impedancije 6 : 1. Uz koaksijalni ka-



Sl. 19-36. Windom antena sa jednostrukim antenskim vodom za napajanje



Sl. 19-37. Napajanje Windom antene koaksijalnim kabelom preko baluna koji transformira impedanciju u omjeru 6 : 1.

bel od 50 ili 60 Ω postiže se prilično dobro prilagođenje. Budući da je koaksijalni kabel oklopljen, smanjena je opasnost od TVI i BCI. Takva antena je poznata pod imenom »FD-4«. Za amatere je zanimljiva osobito zbog toga jer može resonirati na više opsega, kao »multiband« antena, ali se preporučuje upotreba antenske kutije (prilagođivač, match-box). Ako je antenska žica sastavljena od dva komada, jednoga od 13,6 m i drugoga od 27,6 m, sa balunom 6 : 1 između njih, antena će moći poslužiti za rad u 80-, 40-, 20- i 10-metarskom opsegu. Za rad u 15-metarskom opsegu nije moguće postići dobro prilagođenje. Nema, međutim, poteškoća da se FD-4 antena sagradi samo za neku odabranu frekvenciju, za 15-metarski opseg ili za buduće nove opsege (30-, 17- i 12-metarski). Takva ante-

na onda dobro radi na tome opsegu. Dimenzije joj odredimo prema formulama:

$$\text{Ukupna dužina (m)} = \frac{143000}{(\text{frekv. (MHz)})}$$

$$\text{Udaljenost od kraja antene (m)} = \frac{54000}{\text{frekv. (MHz)}}$$

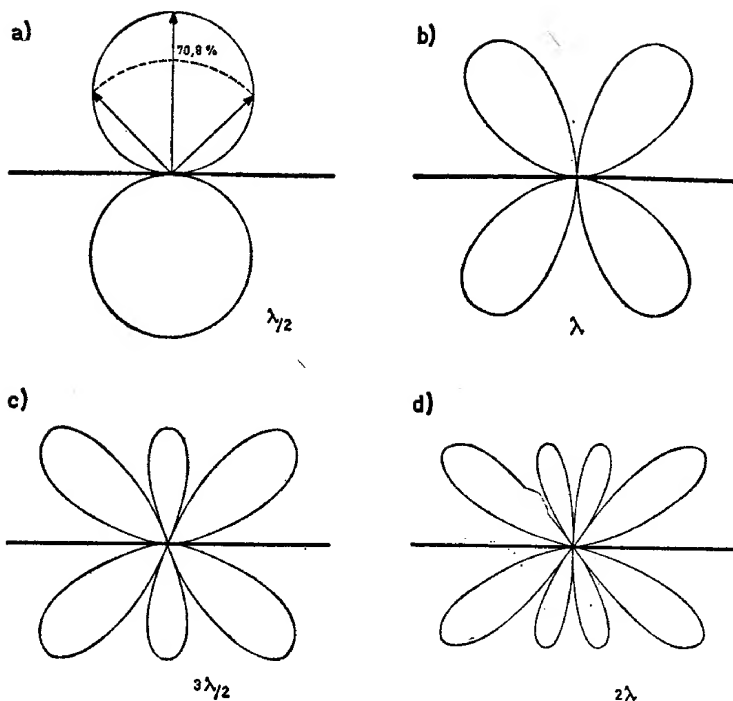
Dijagrami zračenja »dugačkih« antena

Iako prave »dugačke« antene imaju dužinu od mnogo valnih dužina, treba i one kojima dužina do- siže samo nekoliko polovica dužine vala smatrati donekle dugačkim. Njihovo se zračenje radio-valova u prostor bitno razlikuje od zračenja dipola.

Dijagram zračenja dipola može se predložiti kao na sl. 19-38a. Ovdje vidimo da je zračenje najjače u smjeru okomitom na smjer samog dipola. U nekim kosim smjerovima postaje zračenje slabije. Posebno su nacrtani smjerovi u kojima signal postaje za 3 dB slabiji (amplituda padne na 70,8%). Kad bi dipol bio u slobodnom prostoru, u smjeru kojim se on sam proteže ne bi se moglo ništa primiti. U praksi, ipak u taj smjer stigne dio signala koji se odbija na susjednim predmetima.

Kažemo da kod dipola postoje dva lobusa radijacije, jedan na jednu, drugi na drugu stranu. Tačnije proučavanje bi nas dovelo do zaključka da dipol zapravo zrači u svim smjerovima koji su okomiti na dipol, dakle i izvan ravnine crtnje!

Ako antensku žicu, koja je kod neke niže frekvencije služila kao poluvalni dipol, pobudimo kod vi- ših frekvencija tako da ista dužina žice odgovara cijeloj dužini vala, jednoj i pol dužini vala, dvije du- žine vala i tako redom, pojavljuje se sve više lobusa u različitim smje- rovima. Broj lobusa svagda je jed- nak broju polovica dužine vala na antenskoj žici (sl. 19-38b, c i d).



Sl. 19-38. Dijagrami zračenja antene: a) koja resonira na osnovnoj frekvenciji. Za nju dužina antene odgovara polovici dužine vala; b) kod dvostruke frekvencije; c) kod trostruke frekvencije; d) kod četverostruke frekvencije

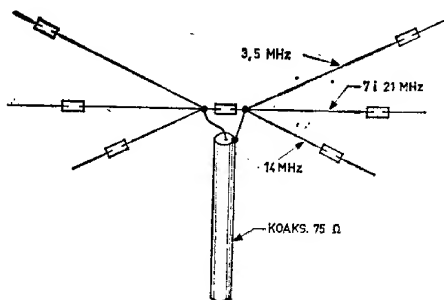
Takvi dijagrami zračenja vrijede za opisane antene tipa Fuchs, Windom, VS1AA i FD-4 ako ih pobuđujemo na njihovoj osnovnoj resonantnoj frekvenciji i na višima, npr. na 7, 14 i 28 MHz. Za još više polovica dužine vala na antenskoj žici dijagrami zračenja imaju još više lobusa. Emitirana snaga dijeli se u sve lobuse. Zato se ne preporučuje pobuđivanje dipola na previsoke frekvencije. Bolje je upotrebiti neku specijalnu »multiband« antenu.

SPECIJALNE MULTIBAND ANTENE

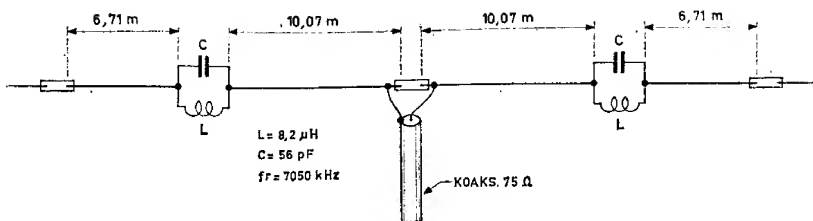
Dipol za četiri opsega

Jednostavan dipol, koji se koaksijalnim kabelom napaja u svo-

joj sredini, ne može se lako pobuđivati na višim opsezima. Odnos stojnih valova ubrzo postaje prevelik. Jedini izuzetak je dipol na sl. 19-31 koji može, ako je dimenzio-



Sl. 19-39. Primjer »multiband« dipola za četiri amaterska kratkovalna opsega



Sl. 19-40. Multiband antenna »W3DZZ«

niran za 7 MHz, gotovo jednako dobro raditi i na 21 MHz.

Želimo li ostati kod napajanja dipola koaksijalnim kablom u sredini, moramo, za rad na više opsega, načiniti tzv. »multiband« dipol prema sl. 19-39. Tu su tri različita dipola priključena na isti koaksijalni kabl. Ako dipoli imaju ispravnu dužinu, SWR u koaksijalnom kablju će biti malen. Krajevi pojedinih dipola neka budu jedan od drugog udaljeni oko 30 cm, iako se često postižu dobri rezultati ako je razmak među dipolima samo oko 5 cm, pa i manje od toga. Blizina povećava kapacitete pa dužine moraju biti nešto manje, što treba odrediti pokusom u svakom pojedinom slučaju.

Antena »W3DZZ«

Na sl. 19-40 je antena za rad na svih pet amaterskih kratkovalnih opsega od 3,5 do 28 MHz, prema W3DZZ. To je prava »multiband« antena. Napaja se koaksijalnim 75-omskim kablom.

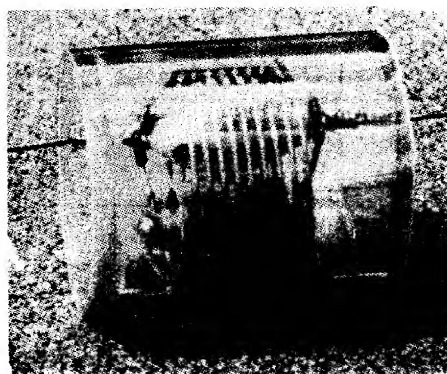
Za ovu antenu su karakteristični tzv. »trapovi« ili »stupice«. To su zapravo titrajni krugovi koji imaju vlastitu resonantnu frekvenciju od 7050 kHz.

Uz dimenzije antenskih žica koje su navedene na slici, zavojnice L djeluju kao produženje antene pa ona resonira u 80-metarskom opsegu. Na frekvencijama 40-metarskog opsega resoniraju titrajni krugovi LC i tako sprečavaju širenje titraja preko cijele antene. Istovremeno resoniraju obje žice od po 10,07 m kao 40-metarski poluvalni dipol ($2 \times 10,07 = 20,14$ m).

U 20-metarskom opsegu antena resonira kao dipol, dugačak tri polovice dužine vala. Dimenzije antene bi za tu svrhu bile prevelike, ali kondenzatori C skraćuju »električki« antenu. Sličan je učinak istih kondenzatora i na opsezima od 15 i 10 metara, na kojima W3DZZ antena resonira kao dipol od pet i od sedam polovica dužina vala.

Na sl. 19-41 vidimo kako se može načiniti visokofrekventna stupica za frekvenciju 7050 kHz. Porculanski antenski izolator smješten je, zajedno sa kondenzatorom od 56 pF, u unutrašnjost zavojnice L . Sve zajedno je u zaštitnom valjku, načinjenom od izolacionog materijala, koji je s obje strane zatvoren poklopcima. Tako je titrajni krug LC zaštićen od atmosferskih utjecaja.

Nacrtan je direktan priključak koaksijalnog kabla (sl. 19-40) na sredinu antene. Bolje je, svakako,



Sl. 19-41. »Stupica« multiband antene »W3DZZ« je titrajni krug koji resonira na 7050 kHz. On mora biti zaštićen od atmosferskih utjecaja

da se zbog simetrije na to mjesto stavi balun (1:1) i preko baluna priključi kabel. Gdjeod se, kod inače simetričnih antena, koaksijalni kabel direktno priključi, nije moguće dobiti zračenje prema dijagramima na sl. 19-38. Balun to može ispraviti.

Širokopojasna, aperiodička antena »T2FD«

Ovu je antenu konstruirao W3HH. Oznaka »T2FD« dolazi od dužeg naziva: *Tilted Terminated Folded Dipole*, što znači da je to dvostruki dipol, koso postavljen i »zaključen« otpornikom, sl. 19-42.

Dužina antene L iznosi $1/3$ najveće dužine vala koju želimo emi-

tirati. Razmak između žica D je stoti dio ove valne dužine. Ovo lako izračunamo:

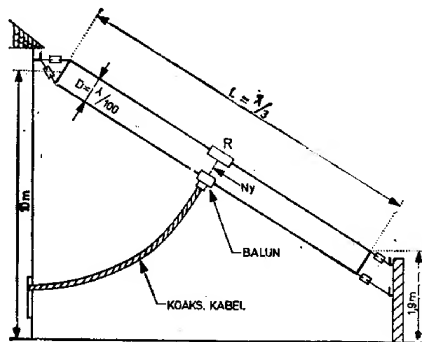
$$\text{Dužina antene (m)} = \frac{100}{\text{frekv. (MHz)}}$$

$$\text{Razmak među žicama (m)} = \frac{3}{\text{frekv. (MHz)}}$$

Antena mora biti koso montirana, najbolje pod kutom od 30° , iako je dopušteno da taj kut bude i malo manji ili malo veći (između 20° i 40°).

Napajanje antene treba biti u sredini jedne, najbolje donje žice. U sredinu druge, gornje žice mora se staviti otpornik R . Njegova vrijednost ovisi o impedanciji napajanja:

Ako je impedancija u tački napajanja antene	Otpornik R kojim je antena opterećena neka bude
600 Ω	650 Ω
450 Ω	500 Ω
300 Ω	390 Ω



Sl. 19-42. Širokopojasna antena »T2FD«. Opis u tekstu. Otpornik R mora podnijeti trećinu snage predajnika. Za 390 Ω može R biti sastavljen od 31 otpornika po 12 k Ω /2 W. Opterećivost je ukupno jednaka 64 W pa antena može raditi sa davačima kojima izlazna snaga dostiže nešto preko 150 W

Ispod 300 Ω ne treba ići jer onda vrijednost otpornika R , za osiguranje dobrog prilagođenja, postaje previše kritična. Opterećivost otpornika R mora biti, ako antena služi kao predajna, najmanje 35% snage predajnika. To znači da ćemo kod rada s predajnikom, kojemu je izlazna snaga 100 W, morati upotrijebiti otpornik koji može izdržati opterećenje od 35 W. Razumije se, to mora biti neinduktivan otpornik. Zicom motani otpornici ne dolaze u obzir. Najbolje je da otpornik sastavimo od više njih za pojedinačno opterećenje oko 2 ili 3 W i da ih onda tako složimo da rezultirajući otpor bude onaj koji nam je potreban.

Napajanje dvojnim vodovima, načinjenim od dvije paralelne žice u odgovarajućem međusobnom razmaku, može biti za impedancije od 600 do 300 Ω , ali se damas radije

upotrebljava koaksijalni oklopljeni antenski kabel. Imamo li na raspolaganju 50-omski kabel, napajat ćemo antenu preko baluna 6:1 i kao R upotrebiti 390 Ω . Možemo se odlučiti i za balun 9:1. Onda bi R trebao biti 500 Ω .

Na sl. 19-42 je slovima N_y označeno da se između baluna i otpornika R može svezati *najlonska nit* (onakva za pecanje ribe!) da se lakše održi razmak među žicama. Pri tom R treba *plastičnom, hermetički zatvorenom kutijom* zaštititi od atmosferskih utjecaja.

Kosi položaj antene može se osigurati tako da se njen viši kraj veže na neki objekt (stup ili kuću) u visini od 10 m. Niži kraj (vidi sliku!) dolazi onda u visinu od 1,9 m. Iskustvo je pokazalo da »T2FD«, unatoč svome kosom položaju, zrači podjednako na sve strane. Ako uporedimo raporte o signalu koji emitira dipol i »T2FD«, *mišljenja se razilaze*. Neki tvrde da je signal koji se postiže sa »T2FD« barem za 2 S-jedinice jači, dok drugi govore o signalu koji je 1 do 2 S-jedinice slabiji od signala emitiranog preko dipola. Ovi drugi bi prije mogli imati, pravo, jer se *jedan dio snage gubi apsorpcijom u otporniku R*. Treba očekivati da će zbog toga i emitirani signal biti nešto slabiji. No, bilo kako mu drago, antena je vrlo upotrebljiva, tim više jer je *vrlo širokopojasna*.

Ako antena »T2FD« dimenzioniramo za najnižu frekvenciju od 3,5 MHz, njena će dužina biti 28,6 m, a moći ćemo s njom raditi na bilo kojoj frekvenciji između 3,5 i 17,5 MHz, obuhvatajući amaterske opsege od 80, 40, (30) i 20 metara. Uzmemo li kao najnižu frekvenciju 7 MHz, dužina antene će biti 14,3 m i obuhvatat će 40, (30), 20, (17), 15, (12) i 10-metarski opseg. Brojke u zagradama označuju *buduće* amaterske opsege, prema zaključcima međunarodne konferencije »WARC« = *World Administrative Radio Conference*, 1979). Amateri će ih dobiti za svoj rad, ali je prepušteno sva-

koj od zemalja potpisnica da same odluče *kada* će to biti.

Budući da je antena tako širokopojasna moramo se pobrinuti da joj dovodimo što čišći signal (dobro filtrirati na izlazu predajnika!) da se ne bi emitirale i neželjene frekvencije.

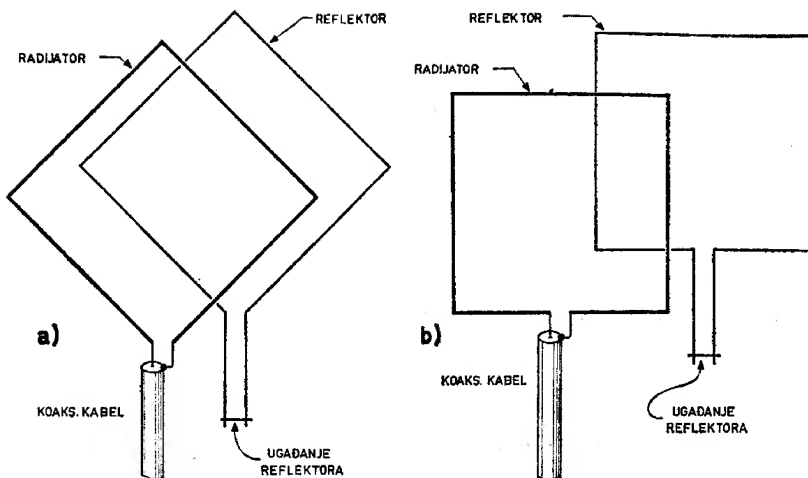
USMJERENE KRATKOVALNE ANTENE

»Cubical Quad«

Naziv »Cubical Quad« (čitaj: *kjubikl kvod*) dobila je antena koja se sastoji od dva kvadratična okvira, prema sl. 19-43. Dužina stranice svakog okvira odgovara četvrtini dužine vala za radnu frekvenciju. Kad bi razmak između okvira bio također jednak četvrtini dužine vala, obuhvatalo bi sve zajedno prostor u obliku kocke (»kubus«), dakle jedan kubus sa dva kvadrata. Otuda i ime!

Prvi kvadratni okvir je radiator. On je spojen sa koaksijalnim kablom za napajanje. U tački napajanja je naponski čvor, jednako kao i na suprotnom kraju okvira. Naponski maksimumi su lijevo i desno, u vrhovima okvira (sl. 19-43a) ili u sredini bočnih stranica (sl. 19-43b). Zato su emitirani valovi *horizontalno polarizirani*, kao kod horizontalnog dipola.

Reflektorski okvir odbija valove prema radiatoru. Rezultat toga je oslabljivanje radijacije u smjeru prema reflektoru (»natrag«) i pojačavanje radijacije u suprotnom smjeru (»naprijed«). Iako reflektor ima dobro djelovanje i onda kad je za četvrtinu dužine vala iza radijatora, stavljaju ga obično bliže, na udaljenost od 0,10 do 0,20 dužine vala. Mijenjanjem udaljenosti reflektora mijenja se impedancija u tačkama na koje je priključen antenski kabel (vidi tablicu 19-2). U svakome se slučaju može pronaći takva udaljenost od radijatora da



Sl. 19-43. Dvije vrste antene »Cubical Quad«. Vidi tekst

Tablica 19-2. Podaci za gradnju »Cubical Quad« antene (sl. 19-43 i sl. 19-45), prema K. Rothammel-u (Y21BK)

Amatersko valno područje:		10 m	15 m	20 m	Napomena
Resonantna frekvencija antene:		29,0 MHz	21,2 MHz	14,1 MHz	
Stranica radijatora (RA):		2,62 m	3,60 m	5,40 m	(*)
Stranica reflektora (RE)	(sl. 19—45)	2,76 m	3,78 m	5,68 m	(*)
		2,62 m	3,60 m	5,40 m	(*)
Dužina dvojnog voda	(sl. 19—43)	0,70 m	1,0 m	1,0 m	—
Razmak D	za imped. 50Ω	1,12 m	1,50 m	2,25 m	—
	za imped. 55Ω	1,33 m	1,79 m	2,68 m	
	za imped. 75Ω	2,12 m	2,83 m	4,25 m	
Gama-prilagođenje (sl. 19—45)	A	0,46 m	0,70 m	0,90 m	—
	B	5 cm	5 cm	5 cm	(**)
	C (maks)	50 pF	75 pF	100 pF	(***)

*) Za bilo koju orijentaciju kvada u prostoru.

**) Nije kritično, ali neka ne bude više od 5 cm.

***) Kad je promjenljivim kondenzatorom kapaciteta C (maks) postignuto dobro prilagođenje (SWR-metar i mjerač polja), izmjeriti kapacitet i promjenljivi kondenzator zamijeniti drugim, fiksne vrijednosti.

je prilagođenje vrlo dobro i da SWR na kabelu bude 1:1.

Pri tome reflektor mora resonirati nešto niže od radne frekvencije radijatora. Zato se reflektoru dodaje komad otvorenog dvojnog voda sa kratkospojnim mostom. Pomicanjem toga mosta reflektor se može optimalno ugoditi na svakoj udaljenosti od radijatora.

Za rad na više opsega takvi se okviri mogu stavljati jedan unutar drugoga, kao na sl. 19-44 koja pokazuje izgled »kvad-antene« za 21 i 28 MHz. Obje se mogu napajati istim koaksijalnim kabelom, ali svaki reflektor mora imati poseban komad otvorenog dvojnog voda za ugađanje.

Za razliku od kvada koji se, sl. 19-43, napaja direktno koaksijalnim kabelom, na sl. 19-45 koaksijalni antenski kabel je priključen na radijator preko tzv. »gama« prilagođenja. Ime je dobilo prema obliku grčkog slova Γ . Može se primijeniti u svakom slučaju, bez obzira na prostornu orijentaciju kvad-radijatora, prema a ili prema b . Također se vidi da reflektor ne mora imati otvoreni dvojni vod za ugađanje, ali mu onda moraju biti dimenzije ne-

što veće. Podatke o dimenzioniranju kvad-antene, prema Rotham-melu, možemo naći na tablici 19-2, za obje varijante, prema sl. 19-43 i sl. 19-45. Najveći antenski dobitak postiže se, ako je reflektorski okvir $0,12 \lambda$ iza radijatorskog okvira. Priključna impedancija je tada 55 Ω a dobitak 5,7 dB.

Za bilo koju drugu frekvenciju mogu se stranice okvira za kvad-antenu lako izračunati:

$$RA (m) = \frac{76}{\text{frekv. (MHz)}}$$

$$RE (m) = \frac{80}{\text{frekv. (MHz)}}$$

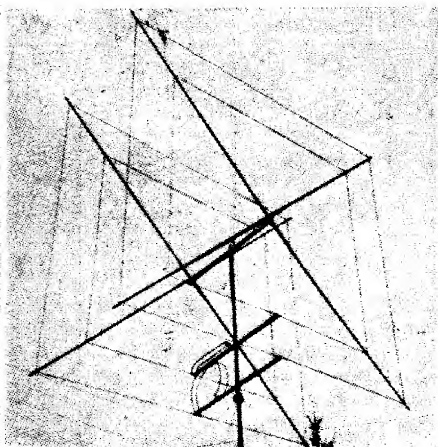
Ako se kvad-antena uporedi s drugim usmjerenim antenama koje amateri vrlo rado upotrebljavaju, njene prednosti nisu toliko u dobitku, koliko u tome da ona zrači položiti, bliže horizontu.

Dobitak kvad-antene je za 1,7 dB bolji nego kod dvoelementne, a 0,5 do 0,8 dB manji nego kod troelementne antene Yagi-jevog tipa. Kvad-antena može obuhvatiti širi opseg frekvencije bez znatnijeg povećanja SWR-odnosa. Osim toga, na rad kvad-antene manje utječu okolni predmeti.

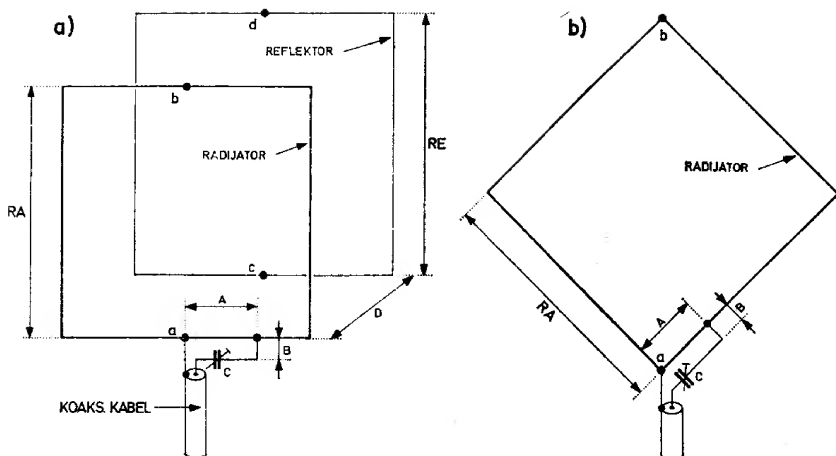
Japanska »mini loop« antena

U časopisu »CQ« (6/1978) opisao je JG1UEA antenu malih dimenzija. Ona se sastoji od metalne petlje (engl. »loop«) koja ima kvadratičan oblik i veličinu 1×1 m (sl. 19-46). Donji krajevi »mini-loop«-a su rastavljeni i izolirani jedan od drugoga (A i B). Od njih odlaze priključne žice u kutiju za prilagođenje.

U toj kutiji je dvostruki promjenljivi kondenzator ($C_1 + C_2$) sa zavojnicama L_1 , L_2 i L_3 . Prve dvije su spojene u seriju, dok se treća zavojnica nalazi između njih. Zavojnica L_3 spojena je na koaksijalni antenski kabel i induktivnim putem predaje visokofrekventne oscilacije titrajnom krugu (L_1 , C_1 , C_2 , L_2 + petlja) u kojemu se, kada promjenljivim kondenzatorom postig-

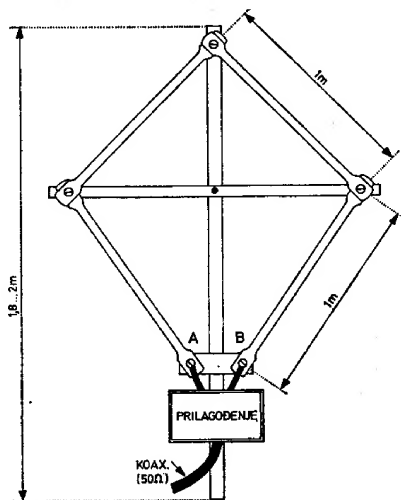


Sl. 19-44. »Cubical Quad« antena za 15 i 10-metarski opseg. Stapovi mogu biti od bambusa, ali su bolji od »fiberglassa« (»Donit«, Kamnik)

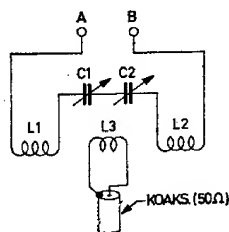


Sl. 19-45. Dvije vrste »Cubical Quad« antene, kod koje je žični okvir potpuno zatvoren. Radijator se napaja koaksijalnim kabelom (50 Ω) preko prilagođenja »gama«. Reflektor ima malo veće dimenzije i ne treba ga ugađati: a) reflektor dolazi iza radijatora u razmaku D (vidi tekst); b) drukčije orijentiran radijator. Dimenzije i prilagođenje su isti. I reflektor mora biti jednako orijentiran. Podaci za gradnju su na tablici 19-2

nemo resonanciju, pobudi intenzivno titranje. Najjača visokofrekventna struja teče pri gornjem vrhu okvira. Zavojnice se mogu odabrati tako da čitav taj »antenski sistem« resonira na 21 ili na 14 MHz, omogućujući rad na ta dva opsega. Na 21 MHz može se rad antene, po raportima, uporediti sa onim što se obično postiže dipolom, dok je — obzirom na vrlo male dimenzije okvira — na 14 MHz signal nešto slabiji, ali još uvijek sasvim upotrebljiv. Okvir se može načiniti od aluminijskih cijevi promjera 8 ili 10 mm, montiranih na ukrštenim drvenim motkama. Dip-metar će nam pomoći pri gradnji prilagođivača.



Sl. 19-46. Japanska »mini loop« antena. $C_1 + C_2 = 2 \times 150$ pF; $L_1 = L_2 = 3$ zavoja, $L_3 = 2$ zavoja, na promjeru tijela 2,5 cm. Može raditi na 15 i na 20-metarskom opsegu. Vidi tekst

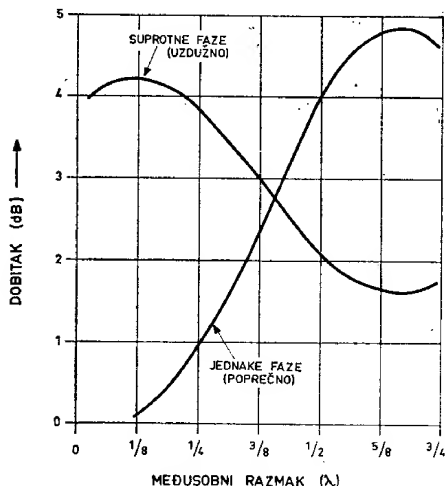


Uzdužno i poprečno usmjeravanje dipolima

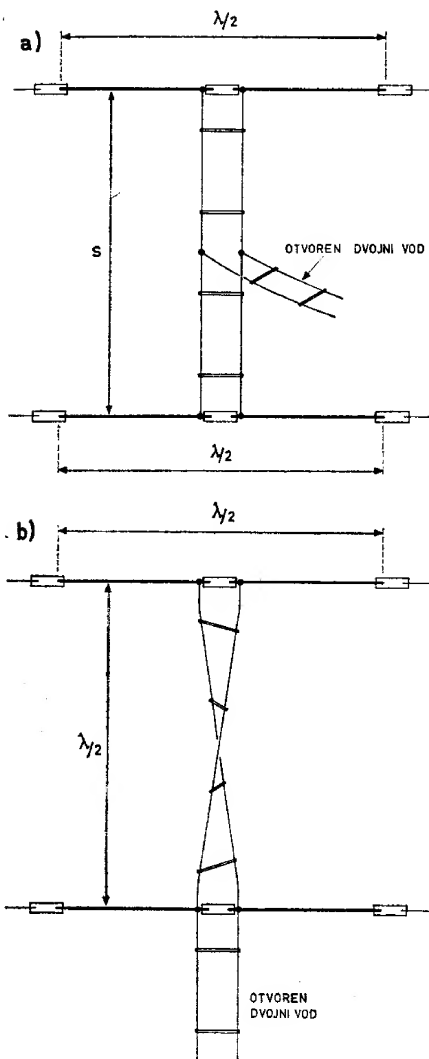
Kakav će biti učinak, ako su dva dipola jedan uz drugi, zavisi o njihovoj međusobnoj udaljenosti i o tome da li su pobuđeni jednakim ili suprotnim fazama.

Dva dipola, postavljena jedan paralelno s drugim, pobuđeni *suprotnim* fazama, najjače zrače u ravnini u kojoj se oba nalaze. Emitirani valovi odlaze *uzduž* te ravnine na jednu i na drugu stranu, smjerom koji je okomit na dipole. Dijagram na sl. 1947 pokazuje da je zračenje takvih dipola najjače ako je njihov međusobni razmak oko $1/8$ dužine vala. Pojaćanje valova tada premašuje 4 dB, ako njihovu snagu uporedimo sa valovima koje bi emitirao samo jedan dipol.

Dva međusobno paralelna dipola, koji su pobuđeni *jednakim* fazama, kao na sl. 1948, najjače zrače *poprijeko* na ravninu u kojoj se



Sl. 1947. Ovisnost tzv. dobitka antene o razmaku dvaju međusobno paralelnih dipola koji su pobuđeni na titranje jednakim fazama (*»broadside«*, poprečno usmjeravanje emisije) ili suprotnim fazama (*»end-fire«*, uzdužno usmjeravanje emisije)



Sl. 1948. Dva dipola koji titraju istim fazama daju pojaćanu radijaciju u smjeru koji je okomit na ravninu crtnje. Napajanje može biti prema a) ili prema b). U primjeru b) dvojni vod mora biti ukršten. Objašnjenje u tekstu

oba nalaze, dakle okomito na ravninu crtnje, prema naprijed i natrag. Pojaćanje valova (antenski dobitak) može doseći skoro 5 dB

ako bi njihovu snagu uporedili sa valovima koji bi istim smjerom išli od jednog dipola. To će biti, kako se iz dijagrama vidi, kad međusobni razmak dipola bude oko $5/8$ dužine vala (sl. 19-47).

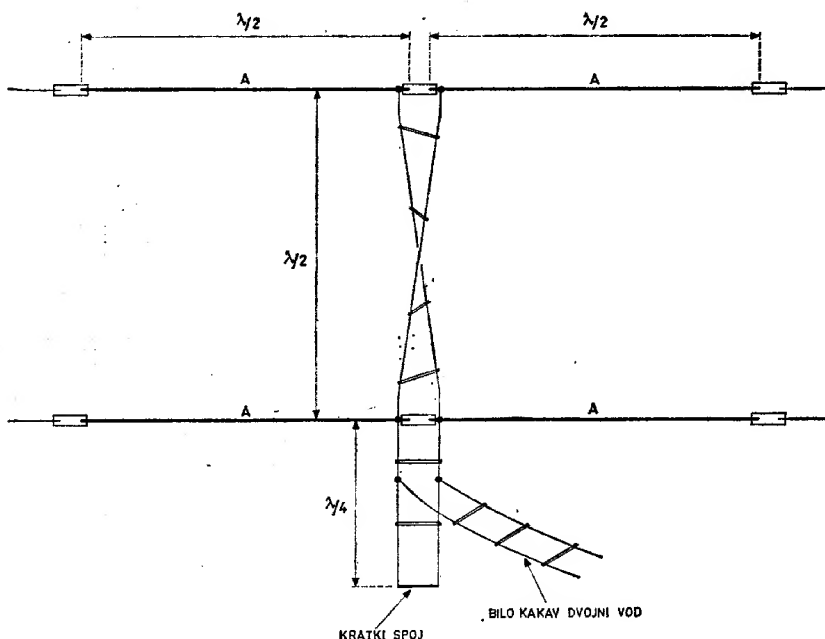
Kod dvostruke antene s poluvalnim dipolima, prema sl. 19-48, antenski dobitak ovisi o razmaku S i može biti između 2,5 i 5 dB. Ako taj razmak iznosi tri osmine dužine vala za radnu frekvenciju od 14 MHz, resonirat će antena na osnovnu frekvenciju (14 MHz) za koju je dužina dipola jednaka polovici dužine vala, pa sve do dvostruke frekvencije. To znači da ćemo takvu antenu moći upotrebljavati na 14, 21 i MHz (sl. 19-48a).

Ako želimo dipole pobuditi jednakim fazama pomoću otvorenog dvojnog voda koji je spojen na donji dipol, mora dvojni vod između dipola biti *ukršten*. Njegova dužina tada mora biti jednaka polo-

vici dužine vala, čime je omogućen rad na samo *jednoj* frekvenciji (sl. 19-48b).

»Lijeno H«

Kod antene koja je nacrtana na sl. 19-49 vidjela je radio-amaterska duhovitost slovo H koje je »od livenosti« leglo na leđa. Zato se takva antena naziva »lijeno H« (»Lazy H«, »fauler Heinrich«, »H paresseux«). Sastoji se od *četiri* poluvalna dipola koji su pobuđeni istim fazama. Dva i dva stoje jedan uz drugi (»kolinearno«), a dva takva para pojačano zrače *poprijeko* na zajedničku ravninu (»broadside«). Između dipolskih parova otvoreni dvojni vod je ukršten i dug polovici valne dužine. Od donjeg dipolskog para visi kratkospojeni *četvrtvalni* vod. Uzduž toga četvrtvalnog voda možemo naći dvije simetrične tačke za priključak bilo kakvog



Sl. 19-49. »Lijeno H«, antena za usmjerenu emisiju, sastavljena od četiri dipola koji titraju istim fazama (»kolinearno«)

dvojnog voda, sa bilo kakvom karakterističnom impedancijom.

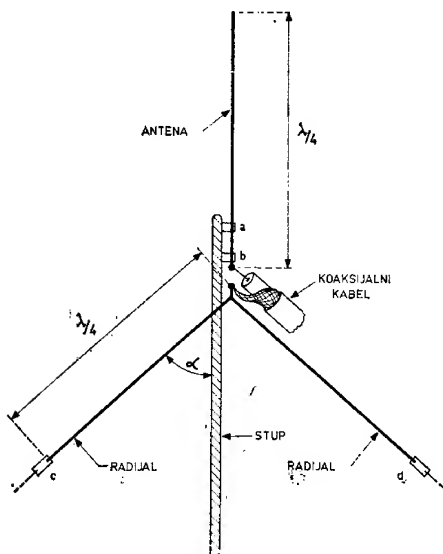
Ako je donji dipol najmanje polovicu valne dužine iznad zemlje, dobitak — prema samom jednom dipolu — je između 5 i 6 dB. Nije to baš »lijeno« zar ne? Da se to (u istom smjeru) postigne samim jednim dipolom, trebalo bi snagu predajnika početverostručiti!

VERTIKALNE KRATKOVALNE ANTENE

»Ground-Plane«

Antena koja je poznata kao »GP« ili »Ground Plane« (čitaj: ground plejn) je antena koja emitira radio-valove u svim smjerovima, ali sasvim nisko prema horizontu. Zato je pogodna za veze na velike daljine (DX).

»GP« antena napaja se koaksijalnim kablom od 50 ili 60 Ω karakteristične impedancije. Donekle je slična Teslinoj vertikalnoj anteni, samo je uzemljenje zamijenjeno tzv. *radijalima* (sl. 19-50).



Sl. 19-50. »Ground-plane« ili »GP«-antena

Antenski radijator je četvrtvalni aluminijski štap kojemu geometrijska dužina ovisi o promjeru štapa i o dužini vala za radnu frekvenciju. Na dijagramu (sl. 19-12) treba naći odgovarajući faktor skraćivanja k i s njime pomnožiti iznos četvrtine dužine vala u slobodnom prostoru:

Dužina radijatora (m) =

$$k = \frac{75}{\text{frekvencija (MHz)}}$$

Na jednak način ćemo izračunati i potrebnu dužinu radijala, samo sa drugačijim faktorom k , budući da su radijali obično načinjeni od žice.

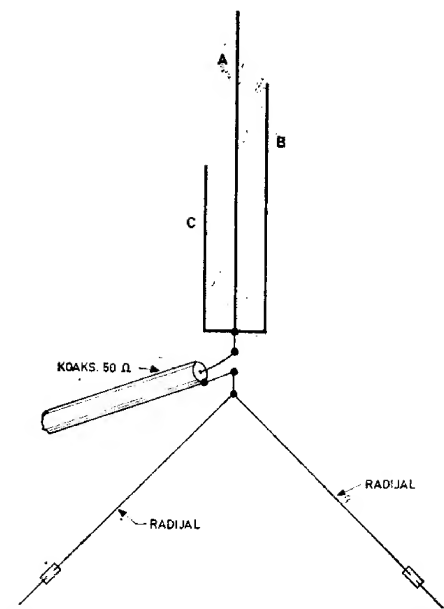
Otpor zračenja antene se mijenja, ako mijenjamo broj i nagib radijala prema horizontalnoj ravni. Radijala ima obično tri ili četiri, prema impedanciji koaksijalnog kabla. Nagib prema horizontalnoj ravni može varirati između 10° i 60° . Taj ćemo postepeno mijenjati, sve dok SWR-metar, uključen blizu predajnika u antenski vod, pokaže što manji odnos stojnih valova u kabelu.

»Multiband GP«

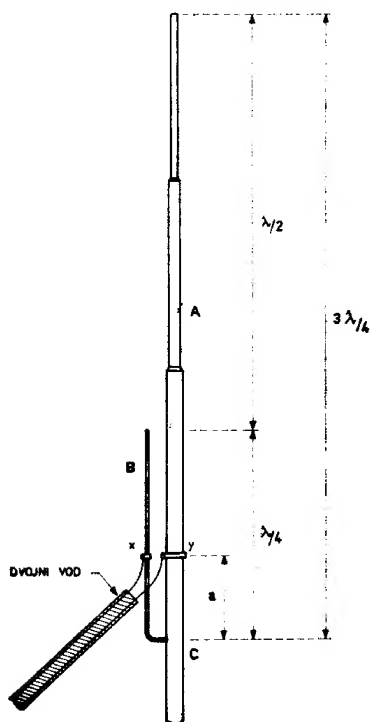
Ako umjesto jednog antenskog radijatora stavimo više njih, A za 14, B za 21 i C za 28 MHz, imat ćemo »Ground-Plane« antenu za tri amaterska kratkovalna opsega, (sl. 19-51).

Iako neki konstruktori smatraju da je dosta postaviti radijale za opseg najniže frekvencije, daleko je bolje za *svaki* od ovih opsega postaviti po tri, dakle ukupno devet radijala. Za svaki pojedini opseg treba odrediti najpovoljniji nagib radijala, pa ćemo na radnim frekvencijama usred svakog od ovih opsega imati SWR jednak jedinici. Prema kraju opsega SWR, razumije se, poraste malo ali ne postaje prevelik.

Za napajanje se preporučuje 50-omski koaksijalni kabel.



Sl. 19-51. »GP-antena« za tri opsega



Sl. 19-52. »Jot« antenna

»Jot« antenna

Crtež na sl. 19-52 prikazuje antenu koja ima oblik slova *J*. Zato se zove »Jot« antenna. To je također jedan od pomalo zaboravljenih oblika vertikalnih antena. »Jot« antenna je izrazito »omnidirekionalna« antenna koja zrači ravno prema horizontu, na sve strane. Osobito je pogodna za 28 MHz, kao i za još više frekvencije.

Na bilo kakvom metalnom stupu *A*, koji treba biti uzemljen i duži od $3/4$ dužine vala, obujmičom *C* je učvršćena metalna šipka *B*. Ova metalna šipka ima dužinu od četvrtine dužine vala i, zajedno sa jednim dijelom metalnog stupa, formira donji, četvrtvalni dio antene. Na ovaj se nadovezuje poluvalni dio antene tako da je »antenski« dio štapa dug $3/4$ dužine vala.

Ako na šipku *B* i na stup *A* stavimo dvije obujmice, *x* i *y*, moći ćemo ih (pomicanjem gore ili dolje) postaviti baš onako, kako je potrebno za najbolje prilagođenje dvojnog voda.

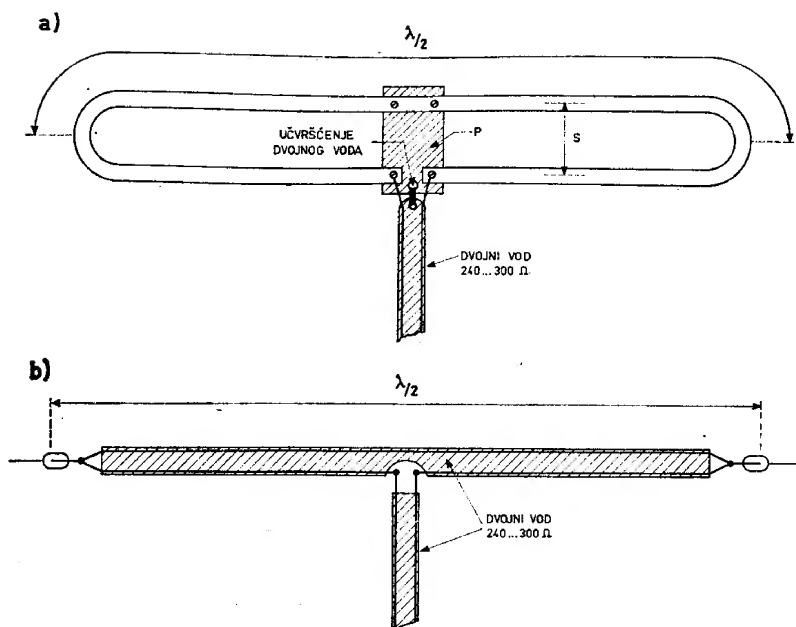
Ako je stup *A* deblji od šipke *B*, za svako od njih će i faktor skraćivanja za izračunavanje dužine biti drugačiji.

DIPOLI ZA ULTRAKRATKE VALOVE

Dvostruki dipol od aluminijske cijevi

UKV dipol za bilo koju frekvenciju, amatersku ili televizijsku, može se načiniti, prema sl. 19-53, od bakrene ili aluminijske cijevi, promjera 6 do 10 mm. Kao i drugi dipoli, tako i ovaj mora biti za radnu frekvenciju dug polovicu dužine vala, uzevši u obzir faktor skraćivanja prema dijagramu na sl. 19-12.

Za sredinu dvometarskog opsega (145 MHz) poluvalna dužina, mjerena kako je označeno na sl. 19-53a, iznosi oko 97 cm. Razmak *S* je otprilike 6 cm. Kod savijanja



Sl. 19-53. Dvostruki dipoli za dvometarske ultrakratke valove: a) dipol načinjen od aluminijske cijevi promjera 6 do 10 mm; b) od antenskog dvojnog voda

cijevi treba paziti da se na zavojima ne ulomi. Zato je treba prije savijanja potpuno ispuniti finim, suhim pijeskom i krajeve dobro začepiti. Kad je savijanje gotovo, cijev se na oba kraja otcepi i pjesak istrese.

Pločica *P*, na koju se učvršćuje dipol, može biti iz bilo kakvog izolacionog materijala koji ne upija vlagu. Neki stavljaju plexiglas, ali možemo upotrebiti i pertinaks jer su impedancije u sredini dipola, a s njima i visokofrekventni naponi, razmjerno niski. Vezu sa UKV prijemnikom ili predajnikom male snage možemo ostvariti plosnatim dvojnim vodom.

Dipol, načinjen od plosnatog dvojnog voda

Najjeftinije i najbrže načinjen UKV dipol je onaj od komada plosnatog dvojnog voda koji inače može služiti za spoj televizora sa antenom.

Za frekvenciju 145 MHz polovica dužine vala u slobodnom prostoru iznosi 1035 m. Uzduž plosnatog antenskog voda radio-valovi se šire brzinom koja je za faktor 0,82 puta manja od njihove brzine u slobodnom prostoru. Geometrijska dužina takvog dipola će prema tome biti: $1035 \text{ m} \times 0,82 = 0,85 \text{ m} = 85 \text{ cm}$.

Odrežimo dakle 1 metar dugi komad takvog dvojnog voda i na njegovim krajevima skinimo izolaciju sa obje žice tako da preostali izolirani dio ne bude duži od 74 cm. Slobodne, od izolacije očišćene krajeve, žica, na obje strane, upredimo i provucimo kroz antenski izolator koji ima oblik jajeta. Antenski izolatori moraju na jednom i na drugom kraju biti simetrično postavljeni, a žica kroz njih provučena i učvršćena na takav način da udaljenost od jednog do drugog krajnjeg dosega žice bude upravo 85 cm, kako je označeno na sl. 19-53b.

Kad smo to načinili, potražimo tačnu sredinu dipola i tu prereži-
mo jednu žicu. Tako dobivene kra-
jeve spojimo sa jednakim dvojnim
vodom potrebne dužine, da može
doseći do prijemnika ili predajni-
ka. Gotovu antenu treba što slo-
bodnije razapeti između dvije tač-
ke u što većoj visini.

USMJERAVANJE PARAZITSKIM ELEMENTIMA

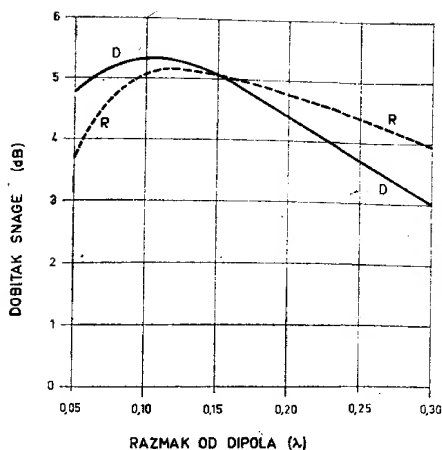
Dvoelementne antene

Ako se dipolu sa stražnje stra-
ne približava metalni štap koji je
malo duži od njega, pojača se sna-
ga signala u smjeru »prema na-
prijed«, jer takav štap odbija radio
valove prema dipolu. Dodatni štap
djeluje kao *reflektor*. Budući da
nije ni s čime spojen, nazivamo ga
parazitskim antenskim elementom.

Snaga signala se pojačava i on-
da ako ispred dipola stavimo metal-
ni štap koji je malo kraći od njega.
Takav štap usmjeruje radio valove
prema sebi i dalje u prostor. Nazi-
vamo ga *direktorom*. I on je para-
zitski antenski element.

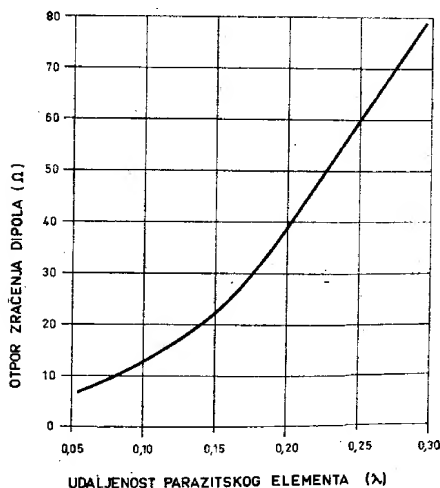
Pojačanje snage signala u odre-
đenom smjeru, mjereno decibelima
(dB), ovisno je o udaljenosti para-
zitskog elementa, prema sl. 19-54.
Ovdje vidimo da dobitak kod dvo-
elementne antene, koja se sastoji
od dipola i direktora, može biti veći
nego kod one koja se sastoji od di-
pola i reflektora. Za najbolje dje-
lovanje mora direktor biti bliže di-
polu nego li reflektor.

Poseban problem predstavlja na-
pajanje dipola kod antena koje ima-
ju parazitske elemente. Njegov ot-
por zračenja to jače pada, što mu
je parazitski element bliže (sl.
19-55). Zbog toga se, kako ćemo ka-



Sl. 19-54. Ovisnost antenskog do-
bitka snage o razmaku između di-
pola i parazitskog elementa kod
dvoelementnih antena. Krivulja D
vrijedi za dipol sa direktorom; kri-
vulja R za dipol sa reflektorom

snije opisati, nastoji posebnom kon-
strukcijom dipola ili specijalnim
transformatorima impedancije po-
stići pravilno prilagođenje normal-
nog antenskog voda na dipol.

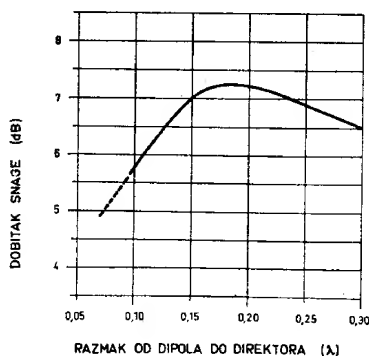


Sl. 19-55. Utjecaj parazitskog ele-
menta na otpor zračenja dipola

Troelementna antena

Istovremenom primjenom obje vrste parazitskih elemenata postiže se još bolje usmjeravanje i još veći dobitak. Dijagram na sl. 19-56 pokazuje ovisnost dobitka snage signala troelementnom antenom koja se sastoji od poluvalnog dipola, reflektora i direktora. Reflektor je bio postavljen paralelno s dipolom, u stalnoj udaljenosti ($0,2 \lambda$). Udaljenost direktora se mijenjala. Maksimalni dobitak je veći od 7 dB.

Isti dijagram nas uči još nešto. Kod promjene razmaka dipol-direktor između $0,14$ i $0,25 \lambda$ dobitak snage signala mijenja se za *manje od pola decibela*! Za istu promjenu ovog razmaka otpor zračenja dipola (sl. 19-55) promijeni se od 20 do 60 Ω . Prema tome promjena udaljenosti parazitskog elementa znatno utječe na otpor zračenja i na prilagođenje dipola antenskom vodu, dok dobitak snage ostaje praktički nepromijenjen. Pokazalo se da ovo vrijedi podjednako za male promjene položaja direktora kao i reflektora.



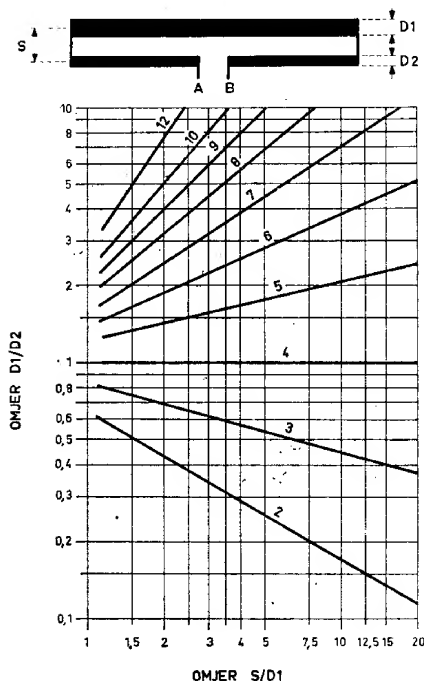
Sl. 19-56. Ako je kod antene koja ima tri elementa reflektor učvršćen na daljinu od $0,2 \lambda$, a direktor pomičan, dobitak snage signala varira između 5 i 7,2 dB

PRILAGOĐENJE KOD ANTENA S PARAZITSKIM ELEMENTIMA

Dvostruki dipol sa transformacijom impedancije

Poznato nam je već da je kod običnog dvostrukog dipola impedancija u tačkama na koje se priključuje antenski vod *četiri puta veća* nego kod jednostrukog dipola (sl. 19-34 i sl. 19-53). To se slaže sa dijagramom na sl. 19-57. Ako su promjeri vodiča od kojih se sastoji dvostruki dipol, D_1 i D_2 , jednaki, transformacija impedancije (ili povećanje otpora zračenja) iznosi četiri, bez obzira na to kakva je udaljenost S.

Isti dijagram pokazuje da se kod dvostrukog dipola izborom različitih promjera vodiča mogu postići i



Sl. 19-57. Transformacija impedancije kod dvostrukog dipola kojemu vodiči nemaju isti promjer

drugačije transformacije u ovisnosti o omjerima D_1/D_2 i S/D_1 . Prema želji i potrebi možemo birati između faktora transformacije od dva do dvanaest.

Prilagođenje T-transformatorom

Poluvalni dipol za ultrakratke valove, kojemu je otpor zračenja osjetljivo smanjen zbog prisutnosti parazitiskih elemenata, možemo uspješno prilagoditi višoj impedanciji nekog antenskog voda pomoću tzv. T-transformatora (sl. 19-58a).

Poluvalni UKV dipol ima promjer D_1 između 10 i 15 mm. Promjer elemenata T-transformatora D_2 je obično 8 do 10 mm. Udaljenost T-transformatora od dipola (S) kod frekvencije oko 145 MHz, u dvometarskom opsegu, može biti 4 do 6 cm.

Elementi T-transformatora su posebnim obujmicama spojeni na dipol tako da se njihove udaljenosti

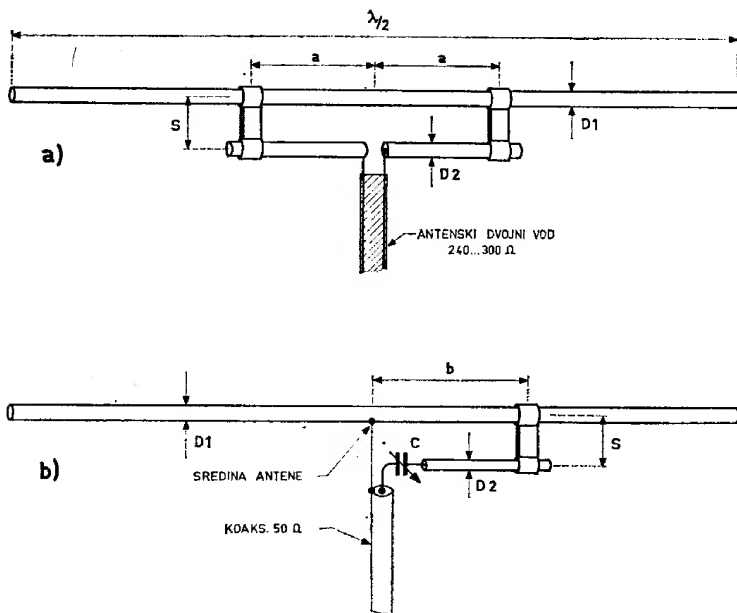
od sredine dipola (a) mogu simetrično mijenjati. Transformacija impedancije je veća ako je omjer D_1/D_2 veći. Sa povećanjem udaljenosti a , dakle sa produženjem T-transformatora, odnos transformacije također raste.

Kod kasnijeg opisa Yagi-antene dat ćemo tačnije podatke o gradnji i o ugađanju T-transformatora.

»Gama« transformator

»Gama« transformator služi za prilagođenje nesimetričnog antenskog dovoda na simetrični dipol. Svoje ime zahvaljuje tome što nalikuje velikom grčkom slovu »gama«, koje se piše kao ćirilčno Г. Možemo ga smatrati polovicom T-transformatora (sl. 19-58b).

Što je veći omjer D_1/D_2 i što je dužina gama-transformatora (b) veća, veći je i odnos transformacije, slično kao kod T-transformatora.



Sl. 19-58. UKV dipol sa prilagođenjem impedancije: a) pomoću T-transformatora; b) pomoću »gama« transformatora

Vanjski pleteni oklop koaksijalnog kabela treba spojiti na samu sredinu dipola. Unutrašnji vodič kabela spaja se, preko kondenzatora *C* ili direktno, na gama transformator. Dužinu *b* ili kapacitet *C* treba tako dugo mijenjati dok se postigne najmanji mogući odnos stojnih valova u kabelu.

YAGI ANTENE

Općenito o Yagi antenama

Antene, koje osim dipola i reflektora redovito imaju jedan, dva ili više direktora, konstruirao je Japanc Yagi.

Ako se Yagi-jeva antena uporedi s nekim drugim antenskim sistemom podjednake veličine, može se vidjeti da ona daje najveće pojačanje signala.

Usmjerene antene ovoga tipa, sa dva ili tri elementa, upotrebljavaju se i na višim kratkovalnim frekvencijama, za 14, 21 i 28 MHz, gdje su

— u različitim izvedbama — poznate pod imenom »Rotary Beam«, tj. kao usmjerene antene koje se mogu okretati. Ipak, takve antene su daleko više raširene kao UKV antene, za opsege od 144 i 432 MHz.

Yagi antena emitira pojačane radio-valove u smjeru koji ide od reflektora, preko dipola i dalje preko direktora. Pojačanje ili »antenski dobitak« u tome smjeru više ovisi o broju elemenata nego li o njihovim međusobnim razmacima. Za optimalno ugođene Yagi antene naći ćemo veličinu dobitka na tablici 19-3. Ovdje vidimo, npr. da od antene sa tri elementa (koja ima reflektor, dipol i direktor) možemo očekivati dobitak do 7 dB. To znači da takva antena pojačava snagu signala koliko bi odgovaralo peterostrukoj snazi predajnika. Prema tome, dvovatni UKV predajnik sa troelementnom antenom u određenom smjeru daje jednako snažan signal kao desetvatni predajnik koji je priključen na običan dipol!

Kod nas i u susjednim zemljama dobro poznata »Elradica«, ante-

Tablica 19-3. Maksimalni dobitak kod različitih Yagi-antena

Broj elemenata	Dodatak prema dipolu približno	Odgovara pojačanju snage predajnika
2	do 5 dB	do 3 puta
3	do 7 dB	do 5 puta
4	do 8,5 dB	do 7 puta
5	do 9,5 dB	do 9 puta
6	do 10,5 dB	do 11,5 puta
8	do 12 dB	do 16 puta
10	do 14 dB	do 25 puta
13	do 16 dB	do 40 puta
5 iznad 5	do 12 dB	do 16 puta
6 iznad 6	do 14 dB	do 25 puta
10 iznad 10	do 16,5 dB	do 45 puta

na sa 11 elemenata za dvometarski opseg, omogućuje dobitak oko 14 dB, dakle kao da je snaga predajnika pojačana 25 puta.

Toliko bismo mogli postići i dvorednom Yagi antenom koja ima »6 iznad 6« elemenata. Ona je kraća, lakše ju je okretati, a — ukoliko umjesto dva dipola stavimo tzv. »slot«, posebni okvirni UKV radijator (vidi kasnije) — ugađanje dvoredne antene nije teže od ugađanja jednorednih Yagi antena.

Yagi antena sa 13 elemenata, tzv. »Long-Yagi«, postiže dobitak blizu 16 dB, toliko kao da umjesto predajnikom sa QOE 03/12 radimo sa stanicom koja ima *polu kilovata* izlazne snage, spojenom na dipol.

Dužina reflektora obično je oko 5% veća od dužine dipola. Direktori su obično oko 5% kraći od dipola. Svim elementima je dužina ovisna o njihovom promjeru i frekvenciji, prema sl. 19-12, ali također o međusobnim razmacima. Ako su, npr. svi direktori jednake dužine, moramo ih produžavati ili skraćivati ukoliko mijenjamo njihove međusobne udaljenosti. Neki konstruktori radije uzimaju direktore kojima se dužina sa udaljenošću od dipola pomalo smanjuje. Opazilo se naime da je onda dužina dipola manje ovisna o razmacima. I resonancija Yagi antene je onda manje oštra pa ju je lakše ugoditi. Osim toga možemo radnu frekvenciju mijenjati u širem opsegu bez opasnosti da odnos stojnih valova postane prevelik.

Veći razmak među elementima također donosi neke prednosti. Ponajprije, kod većih razmaka ne smanjuje se otpor zračenja dipola toliko kao kad su razmaci manji. Širina opsega radnih frekvencija, na kojima se može raditi uz SWR manji od 2:1, iznosi oko 2% kod manjih, 3% kod većih razmaka.

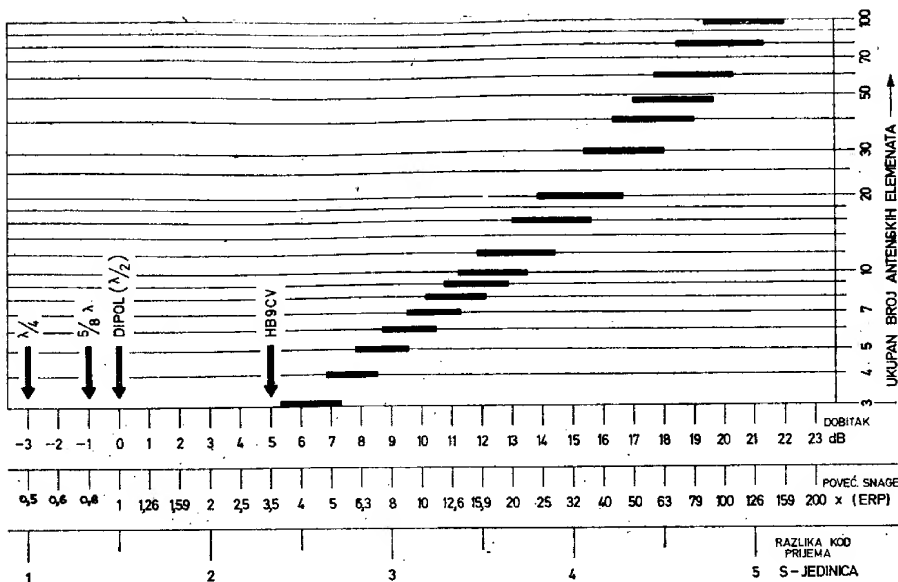
Prije nego navedemo podatke prema kojima si amater može sam sagraditi dobru Yagi-antenu, treba reći nešto o onim brojkama koje se mogu čitati u prospektima i čuti u amaterskim razgovorima. Da trgo-

vačke reklame često pretjeravaju ne treba posebno dokazivati. Također je jasno da i o antenama ima hvalisavih priča, baš kao i o ribolovu. Ni jednome ni drugome ne treba odmah povjerovati, ili... »hvalite se i sami!« Prava istina je da u *tehničima nema »čudesnih rješenja«* i da *svaki dobitak treba na neki način »platiti«*.

Dobitak se kod bilo koje usmjerene antene postiže na račun širenja radio-valova u drugim smjerovima. Što je dobitak u određenom smjeru veći, to emitirani »*snop*« *postaje sve užji*, a to nije uvijek najbolje. To osobito nije dobro za vrijeme različitih »kontesta«. Antenu, koja je »preoštra«, treba prečesto okretati, a osim toga lako nam može izbjeći nečiji poziv iz drugog smjera.

Ono, što se stvarno može postići višeelementnim antenama, pokazuje grafikon na sl. 19-59. Skala dobitka antene u decibelima odnosi se na upoređivanje sa poluvalnim dipolom. Tamo je »nula« dB.

Na vertikalnoj osi grafikona je *ukupan broj antenskih elemenata*. Otuda vidimo da, npr. sa 10 elementnom Yagi-antenom možemo postići dobitak »prema napred« oko 12, najviše 13 dB. Podvostručimo li broj elemenata, možemo očekivati najviše dvostruk dobitak, što znači 3 dB više, dakle nešto oko 15 dB. Najčešće se udvostručenjem, u praksi, ne postiže još 3 dB, već možda samo 2,5 do 2,7 dB više. Čuje se iz nestručnih usta da je očekivani broj decibela u takvom primjeru: $12 + 12 = 24$. Dobro to zvuči: 24 dB, ali toliki se dobitak *ne može postići ni sa ukupno 100 elemenata!* Realnost je doista drukčija. Ako dipolom već čujemo neku radiostanicu, sa 10 elementnom antenom ćemo je čuti samo za 2 *S-jedinice bolje!* Povećanje antene za još 10 elemenata dat će prijem koji je samo *pol S-jedinice bolji!* Pri tome *mislimo na »prave« S-jedinice* od kojih svaka predstavlja promjenu signala za 6 dB. Mnogi S-metri, ugrađeni u primopredajnike tvorničke proiz-



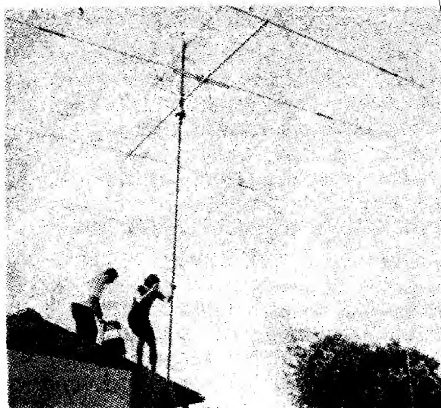
Sl. 19-59. Pregled antenskog dobitka u odnosu prema dipolu za antene malih dimenzija ($\lambda/4$ do HB9CV) i za više-elementne antene Yagi-jevog tipa. Dobitak je izražen u decibelima (dB) i kao ekvivalentno povećanje snage (ERP) u jednom smjeru. Za učinak antene kod prijema nacrtana je i skala u S-jedinicama. Vidi tekst

vodnje, pokazuju neke »reklamne« S-jedinice. U njih se ne možemo pouzdati!

Na sl. 19-59 su i neke antene manje od dipola. O njima će biti govora u poglavlju 20. Kao primjer ovdje ćemo uzeti samo četvrt-valnu ($\lambda/4$) antenu. Tko bi rekao da najveća antena, sa preko 80 elemenata, može osigurati prijem koji je samo za 4 S-jedinice bolji? Razmislimo o tome prije nego počnemo sa gradnjom i postavljanjem antene (sl. 19-60).

O gradnji Yagi antena za UKV

Ako sami gradimo neku Yagi antenu, dobro je da se držimo nekih iskušanih dimenzija. Tipične dimenzije svih elemenata i njihovih međusobnih razmaka možemo naći na tablici 19-4. Prema ovim podacima možemo načiniti Yagi antenu za



Sl. 19-60. Radio-amateri postavljaju antene. Na stupu je mali električni rotator, troelementna kratkovalna antena sa »trapovima« (stupicama) za rad na nekoliko opsega i, iznad nje, dvometarska Yagi-antena

dvometarski ili 70-centimetarski opseg. Broj elemenata možemo odabrati po volji, ali moramo paziti da materijal za izradu elemenata (bakrene ili aluminijumske cijevi) imaju promjer koji odgovara navedenim dimenzijama. Za 144 MHz promjer neka ne bude manji od 6, ni veći od 18 mm. Optimum je 10 do 12 mm. Za 432 MHz potrebne su cijevi nešto manjeg promjera, između 3 i 12 mm, najbolje oko 6 mm. Dipol treba načiniti, prema sl. 19-58, sa T ili sa »gama« transformatorom.

U primjerima Yagi antena, koje ćemo detaljnije opisati, navedene su sve dimenzije. Najbolje je da ih se pri gradnji držimo što tačnije. Uspjeh neće izostati. Ne zaboravimo da svaku antenu treba i ugoditi, baš kao svaki drugi dio radio-stanice.

»Jagica« sa pet ili šest elemenata

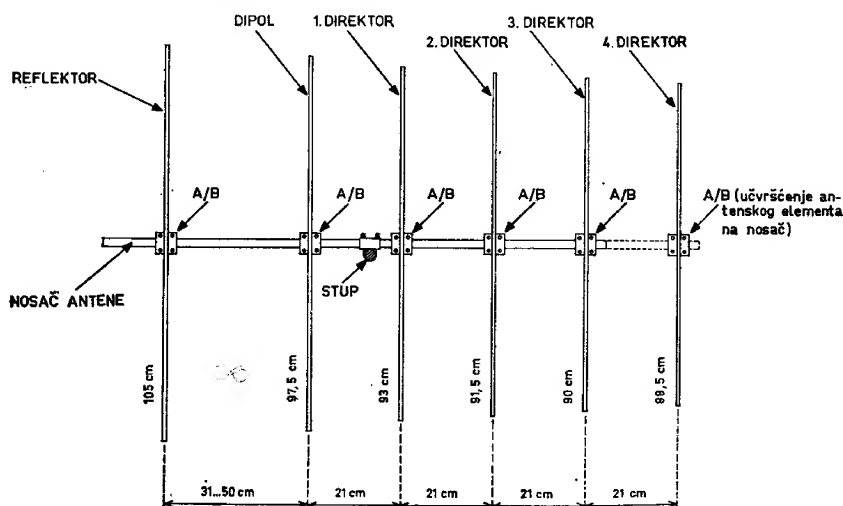
Yagi antena, ili kako je amateri još nazivaju »jagica«, koja može imati ili pet ili šest elemenata, nacrtana je na sl. 19-61. Ova antena ima jedan reflektor koji se nalazi »straga«. Ispred reflektora slijedi dipol i, dalje »sprijeda«, ispred di-

pola tri ili četiri direktora. Ako stavimo tri direktora, antena će ukupno imati pet elemenata. Stavimo li četiri direktora, antena ima šest elemenata.

Svi su elementi uvršćeni na uzdužni nosač antene. To može biti aluminijaska cijev promjera 18 do 20 mm, dugačka ili 125 ili 150 cm, što ovisi o broju elemenata.

Parazitske elemente treba rezati od aluminijске cijevi promjera 10 mm, tako da im dužine budu, prema sl. 19-61: za reflektor 105 cm; za direktore redom 93; 91,5; 90 i, ako želimo, još 88,5 cm. Pažljivi čitalac će primjetiti da se ove dimenzije razlikuju od onih u tablici 19-4, ali ovdje su i razmaci među elementima drugi. Svi razmaci računaju se od sredine jednoga do sredine slijedećeg elementa. Budući da je kod ove Yagi antene razmak između svih direktora isti, možemo ih, počevši s najkraćim i onda redom sve duži i duži, učvrstiti na nosač.

Ima različitih načina za učvršćivanje antenskih elemenata. Za ovaj, koji je prikazan na sl. 19-62, treba najmanje alata a učvršćenje je vrlo dobro. Za svaki element treba načiniti po jedan par limenih obujmi-



Sl. 19-61. Raspored antenskih elemenata za Yagi-antenu sa pet ili šest elemenata za 144 MHz

Tablica 19-4. Tipične dimenzije Yagi-antena za 145 i za 435 MHz

A) Elementi:

Naziv elementa	Dužina elementa prema dužini vala u slobodnom prostoru	Dužina elementa (cm) za	
		144 MHz	432 MHz
Reflektor	0,495	102,5	34,2
Dipol	0,473	98	32,6
1. direktor	0,440	91	30,3
2. direktor	0,435	90	30
3. direktor	0,430	89	29,7
Svaki daljnji direktor	za 0,005 kraći	88 itd.	29,4 itd.
Posljednji direktor	za 0,007 kraći od prethodnjeg direktora	za 1,5 kraći	za 0,5 kraći
Napomena: Promjer elemenata za 145 MHz : između 6 i 18 mm; Promjer elemenata za 435 MHz : između 3 i 12 mm;			

B) Međusobni razmaci:

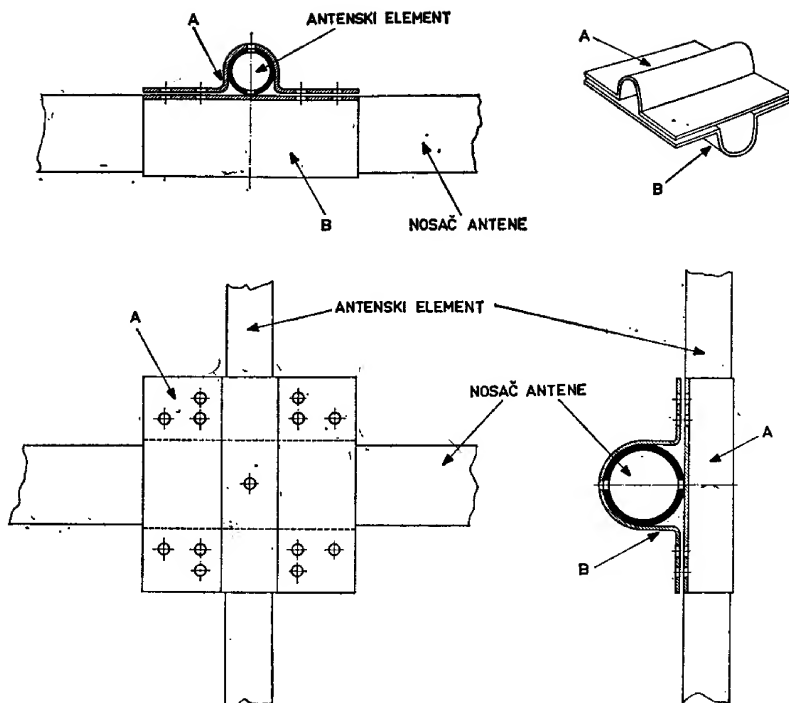
Naziv	Razmak među elementima prema dužini vala u slobodnom prostoru	Razmak (cm) za	
		144 MHz	432 MHz
Reflektor-dipol	0,125	25,8	8,6
Dipol-prvi direktor	0,125	25,8	8,6
Prvi direktor-drugi direktor	0,25	51,6	17,2
Drugi direktor-treći direktor itd.	0,25 itd.	51,6 itd.	17,2 itd.

ca (najbolje od aluminijskog lima debljine 1 mm), prema skici na sl. 19-62 gore, desno. U jedan od limova u takvom paru (A) mora pristajati antenski element, dok drugi (B) mora obuhvatiti nosač antene. Ovi limovi imaju dakle oblik žljebova koji su jedan na drugi okomiti. Kad u te žljebove dođu odgovarajuće aluminijske cijevi, limovi pravilno sastave i stegnu vijcima (šarafima), moraju obje cijevi, i ona od koje je načinjen antenski element i ona od nosača antene,

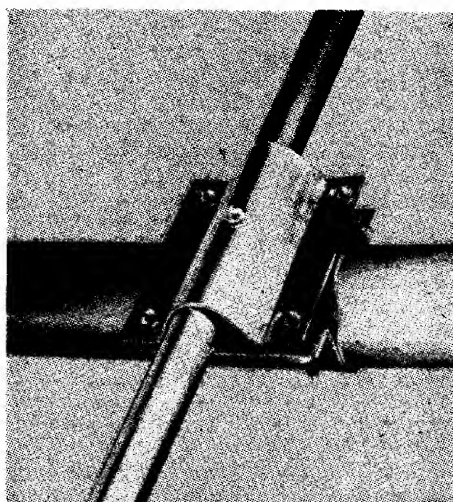
biti čvrsto stisnute, bez deformiranja.

Na istoj slici gore, lijevo je presjek takvog učvršćenja, gledan u smjeru antenskog elementa. Dolje, desno je presjek gledan u smjeru nosača antene. Skica lijevo, dolje, pokazuje izgled učvršćenja, gledan odozgo. Fotografiju takvog učvršćenja vidimo na sl. 19-63.

Kad smo tako sve direktore učvrstili na propisanim razmacima, pobrinut ćemo se da na nosaču stoji paralelno jedan s drugim i u



Sl. 19-62. Skica prikazuje kako treba izraditi obujmice za učvršćivanje antenskih elemenata Yagi-antene na nosač



Sl. 19-63. Izgled učvršćenja antenskog elementa

istoj ravni. Onda možemo još svakoga sa po jednim vijkom i maticom pritegnuti kroz poprečnu rupu koja je označena u sredini skice na sl. 19-62, lijevo dolje. Glavu poprečnog vijka možemo vidjeti i na sl. 19-63. Tako se direktori više neće moći okretati oko nosača. S time je montaža direktora završena.

Moramo posebno upozoriti da za sva pričvršćivanja na anteni ne valja upotrebiti mjedene (mesingane) vijke. Oni su nepouzdana, jer se pod utjecajem atmosferilija, na slobodnom prostoru ubrzo sasvim raspadnu! Najbolji su željezni vijci, pocinčani u vatri. Ako takvih nemamo, uzmimo obične željezne, pa i njih i njihove matice premažimo minijem i običnom crnom bojom za zaštitu željeza ili, još bolje, onim bitumenskim lakom kojim se zašti-

ćuju željezne površine automobila s njegove donje strane.

Izradi dipola treba posvetiti posebnu pažnju. To je dipol s prilagodnim *T*-transformatorom. Da si olakšamo posao oko kasnijeg ugađanja toga transformatora, držimo se dimenzija koje su navedene na sl. 19-64.

Za sam dipol možemo uzeti savim jednaku aluminijsku cijev, kao i za parazitske elemente. Dipol može biti načinjen i od cijevi većeg promjera (10 do 15 mm), ali to nije neophodno.

Cijev od koje ćemo načiniti dipol dugačka je 97,5 cm. Na antenski nosač je treba učvrstiti na jednak način kao i ostale elemente, tačno u sredini.

Transformator impedancije je obješen obujmicama *C* i *D* na sam dipol, pri čemu su obujmice postavljene tačno simetrično. Glavni dio *T*-transformatora sastoji se od dva komada aluminijske cijevi, dugačkih po 30 cm i promjera 10 mm. Ovi komadi su sastavljeni komadom izolatora u međusobnom razmaku od 10 do 15 mm. Kao izolator može poslužiti okrugli štapić od »juvidura« (tvrdi PVC) koji se jednostavno nabije u cijevi. Umjesto toga možemo obje cijevi *T*-trans-

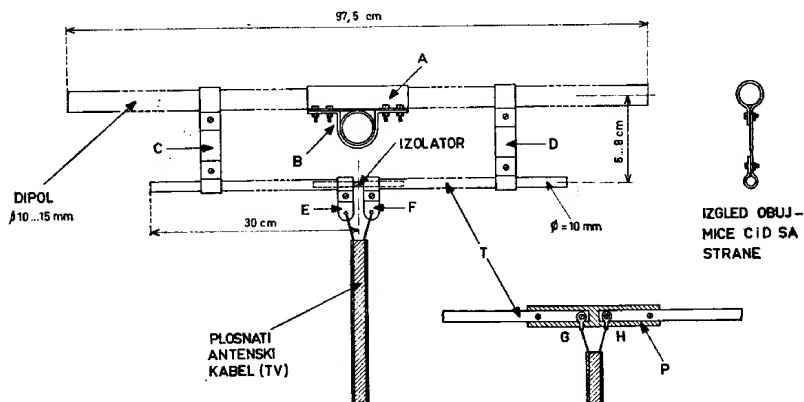
formatora pritegnuti vijcima na traku *P* koja je izrezana iz ploče pertinaksa ili pleksiglasa, debele 4 do 6 mm.

Na unutrašnje krajeve cijevi, koje pripadaju *T*-transformatoru, stavimo ili obujmice *E* i *F* ili »kabelske papučice« *G* i *H*. Na njih ćemo zalemiti žice plosnatog dvojnog voda. Umjesto dvojnog voda može se priključiti i koaksijalni kabel sa polualnim transformatorom, prema sl. 19-16b.

Kad smo dipol tako kompletili i kad je i on definitivno učvršćen na svoje mjesto, učvrstimo još i reflektor. Razmak između prvog direktora i dipola će biti 21 cm. Od dipola do reflektora neka razmak — za početak — bude 50 cm. Reflektor još nećemo definitivno učvrstiti, jer ćemo njegov položaj kasnije mijenjati.

Da nam antena bude dobro prilagođena na priključeni antenski kabel i preko njega na predajnik, moramo je ispitati i optimalno ugoditi.

Za ugađanje antene potreban nam je neki indikator jakosti polja. Na brzinu ga možemo i sami načiniti ako na kraju dvojnog voda koji je spojen sa jednim od dipola, načinjenih prema sl. 19-53,



Sl. 19-64. Dipol Yagi-antene sa transformatorom impedancije za napajanje pomoću dvojnog voda od 200 do 300 Ω . Umjesto toga može se upotrebiti balun sa transformacijom 1:4 i napajati koaksijalnim kabelom

spojimo germanijevu diodu i, s njom u seriju, pogodan miliampermetar. Ovakav pomoćni dipol i Yagi antenu treba, svako za se, postaviti na dva metra visoke motke u međusobnoj udaljenosti od približno 10 metara, na što slobodnijem prostoru, najbolje u nekom većem dvorištu, što dalje od zgrada. Antenski elementi pri tome moraju biti horizontalni.

UKV predajnik spaja se sa antenom preko plosnatog dvojnog voda (240 ili 300 Ω) ili preko koaksijalnog kabela (50 do 75 Ω). Ako se odlučimo za koaksijalni kabel, treba na onaj njegov kraj koji je bliže anteni staviti »balun« za simetriranje i transformaciju impedancije u omjeru 1 : 4 (sl. 19-16b).

Obujmice *C* i *D* transformatora impedancije na anteni najprije razmaknemo do krajeva onih dvaju 30-centimetarskih komada cijevi, tačno simetrično na dipolu.

Ako sada uključimo dvometarski predajnik, onaj miliampermetar koji je priključen na pomoćni dipol pokazat će neku jakost struje. Njenu vrijednost neka nam čita i uređno zapisuje osoba koju smo zamolili da nam pomogne.

Kao prvo treba prilagoditi *T*-transformator. U tu svrhu najprije isključimo predajnik. Onda simetrično, s obje strane, malo primaknemo obujmice *C* i *D* prema sredini. Ponovno uključimo predajnik. Otklon kazaljke miliampermetra redovito će pokazati da je signal postao jači. Ovo ponavljamo, neprestano primičući *C* i *D*. Otklon na miliampermetru će pomalo rasti da bi konačno počeo padati. Kad smo postigli maksimalno mogući otklon kazaljke miliampermetra, postigli smo prilagođenje. Ipak još nismo gotovi s poslom.

Potrebno je još pronaći najbolji položaj reflektora. Yagi antenu koja je cijelo vrijeme bila okrenuta svojim direktorima prema pomoćnom dipolu (nazivamo ga »mjera-

čem« polja!), okrenimo sada za 180°, tj. tako da antena bude prema mjeracu okrenuta onom stranom na kojoj je reflektor. Kad uključimo predajnik, vidjet ćemo na miliampermetru mjeraca polja da antena zrači i prema natrag, ali *slabije!* Približavamo malo-pomalo reflektor k dipolu Yagi antene, sve dok ovo zračenje »unatrag« bude *najslabije*.

Okrenimo antenu ponovno u pravilan smjer, prema pomoćnom dipolu i *ponovno* pokušajmo da primicanjem ili razmicanjem obujmica *C* i *D* na *T*-transformatoru postignemo maksimum radijacije prema naprijed. Ovaj maksimum će redovito biti veći od predašnjega. Pomicanjem reflektora pokvarili smo prilagođenje koje je trebalo popraviti.

Konačno, kad smo postigli da nam antena »prema naprijed« emitira maksimalno, a istovremeno »prema natrag« minimalno, prilagođen je *T*-transformator i cijela antena. Ona je sposobna da radi sa najmanje gubitaka, uz maksimalno iskorištenje izlazne snage predajnika.

Kad je antena potpuno ugođena, stojnih valova na antenskom kabelu nema. O tome se možemo lako osvjedočiti ako se antena napaja preko koaksijalnog kabela. Reflektometar (*SWR*-metar) uključen između predajnika i kabela, pokazat će da je odnos stojnih valova jednak jedinici.

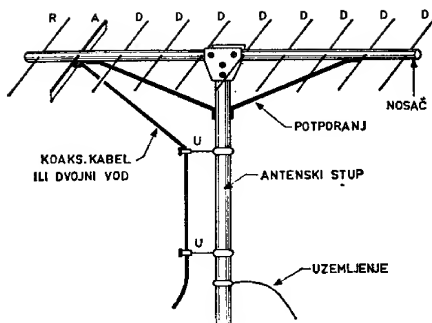
Sa ovakvom antenom možemo očekivati dobitak snage signala koji će biti blizu 9 dB (sa pet), odnosno oko 10 dB (sa šest elemenata). Dobitak je nešto manji od maksimalnoga, jer su svi elementi, prilično velikog promjera i jer direktori postaju sve kraći. U naknadu za nešto smanjeni dobitak, antena je toliko širokopojasna da je možemo podjednako dobro upotrijebiti na svim frekvencijama unutar dvometarskog opsega.

»Long-Yagi«

Kad bismo, služeći se podacima iz tablice 19-4, načinili 10-elementnu Yagi antenu, bila bi dugačka nešto preko 5 metara i slična onoj na sl. 19-65. Dobitak koji bismo postigli iznosio bi oko 13 dB, tj. nešto manje od maksimalne vrijednosti koja je navedena u tablici 19-3. To bi bilo zbog toga, jer bi takva antena (kao i gore opisana pet ili šest elemenata) bila širokopojasna.

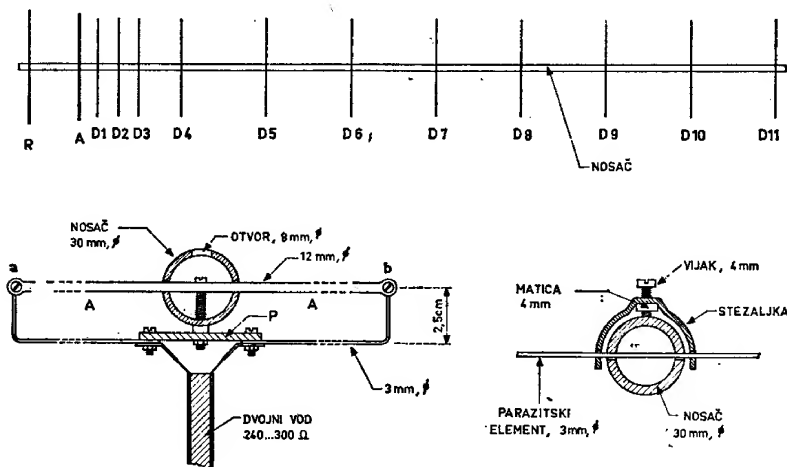
Želimo li postići maksimalno mogući dobitak, gradeći Yagi-antenu velike dužine, moramo se odreći širokopojasnosti i elemente načiniti i postaviti tako da čitava antena ima »oštriju« resonanciju. Ovakva svojstva imaju UKV antene koje nazivaju »Long-Yagi«. Savremena, »prava« antena ove vrste može se prepoznati po svojoj razmjerno većoj dužini i po tome što su joj svi parazitski elementi znatno *tanji* nego kod drugih Yagi antena.

Takvu »Long-Yagi« antenu najuspješnije ćemo načiniti služeći se nekim već iskušanim modelom. Vrlo dobrom pokazala se antena sa ukupno 13 elemenata koji su raspo-



Sl. 19-65. Yagi-antena, montirana na antenski stup. Slovom U su označena izolirana uporišta koja pridržavaju antenski vod. Antena ima reflektor R, dipol A i 8 direktora

ređeni na nosaču 7,25 m dužine, prema sl. 19-66. Ako se što tačnije aržimo svih mjera koje su označene na toj slici i onih koje su navedene na tablici 19-5 postići ćemo dobitak od 16 dB. Dužina reflektora i svih direktora je ovisna o radnoj frekvenciji. Navedena dužina dipola vrijedi za sve frekvencije od 144 do 146 MHz. Njegova je reso-



Sl. 19-66. »Long-Yagi«, dugačka antena sa 13 elemenata i dobitkom od 16 dB. Gore raspored antenskih elemenata; lijevo dolje; skica dipola sa transformacijom impedancije koja se postiže nejednakim promjerima; desno dolje: stezaljka za učvršćivanje tankih parazitskih elemenata

nancija šira obzirom na veću debljinu. Osim toga želimo naglasiti da je dužina svih direktora jednaka!

Detalj dipola A , na sl. 19-66, pokazuje kako ga treba načiniti. Sam dipol ima od jednog kraja do drugog propisanu dužinu od 976 mm. Mjere su navedene u milimetrima da se istakne potreba tačnosti. Kad odrežemo takav komad aluminijske cijevi, čekićem ćemo mu splosniti krajeve i probušiti rupe a i b . U ove rupe moramo staviti vijke za spajanje ove cijevi sa aluminijskim žicama koje služe kao transformator impedancije. Njihova debljina neka bude 3 mm. Možemo ih u tač-

kama a i b zavariti kod dobrog varioca za aluminij. Zavareni kontakt je bolji od stezanja vijcima.

Nosač antene treba da ima promjer oko 30 mm i dužinu od 7,25 metara. Najvjerojatnije ćemo ga morati sastavljati od barem dva komada. Učvršćenje dipola na nosaču možemo izvesti na način koji je prikazan crtežom. Sam dipol je provučen kroz rupu na nosaču i pritegnut dužim vijkom koji istovremeno drži i pločicu P (juvidur, pleksiglas ili pertinaks). Na tu pločicu treba učvrstiti krajeve žica transformatora impedancije i — kad bude antena gotova — prik-

Tablica 19-5. Dimenzije »Long-Yagi« antene za dvometarski opseg (sl. 19-66)

A) Elementi

Naziv elementa	Dužina (mm)	Za frekvenciju
Reflektor (R)	1040	144 MHz
	1035	145 MHz
	1030	146 MHz
Dipol (A)	976	144 do 146 MHz
Direktori (D_1 do D_{11})	930	144 MHz
	925	145 MHz
	920	146 MHz

B) Međusobni razmaci

Oznaka razmaka	Iznos (mm)	Oznaka razmaka	Iznos (mm)
$R-A$	480	D_5-D_6	812
$A-D_1$	178	D_6-D_7	812
D_1-D_2	190	D_7-D_8	812
D_2-D_3	190	D_8-D_9	812
D_3-D_4	406	D_9-D_{10}	812
D_4-D_5	812	$D_{10}-D_{11}$	812

ljučiti vod za napajanje antene (dvojni vod ili koaksijalni kabel sa balunom).

Parazitske elemente ćemo učvrstiti posebnim polukružnim stezaljkama (vidi crtež) tako da prolaze poprečno kroz sredinu nosača, tačno u propisanim međusobnim razmacima koji se mjere od sredine jednog do sredine slijedećeg elementa.

Kad je sve načinjeno kako treba, moramo antenski nosač učvrstiti na antenski stup, slično onome na sl. 19-65. Zbog velike dužine moramo dodati potpornje (podupirače) da nam se ne bi antena previše savijala ili slomila na vjetru.

Velik dobitak postiže se, kako smo već rekli, samo na račun sužavanja opsega radnih frekvencija. »Long-Yagi« usmjerava radio-valove u veoma uskom snopu. Zato ga treba što tačnije okretati prema onim stanicama s kojima želimo održati vezu. Okretati treba ili rukom pomoću nekog mehanizma ili jačim »rotatorom« sa električnim motorom. Obični mali rotatori, koji su namijenjeni za okretanje televizijskih i manjih dvometarskih UKV antena, ne mogu se upotrebiti. Za njih je takva antena predugačka.

DVOREDNE UKV ANTENE SA »SLOT« RADIJATOROM

Dvoredne antene za UKV

Dvorednu UKV antenu dobijemo onda, ako dvije Yagi antene stavimo jednu iznad druge, npr. »5 iznad 5«, »6 iznad 6«, »10 iznad 10« itd. Međusobna udaljenost najčešće iznosi između polovice i cijele dužine vala. Obje Yagi antene treba napajati istim fazama pomoću dvojnih vodova posebne konstrukcije.

Kod Yagi antena je utjecaj parazitskih elemenata jedan na drugi i ovih na dipolski radijator prilično zamršen, tako da je postizava-

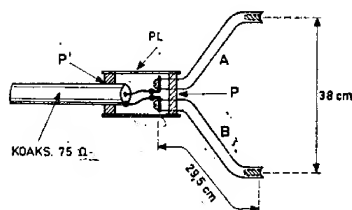
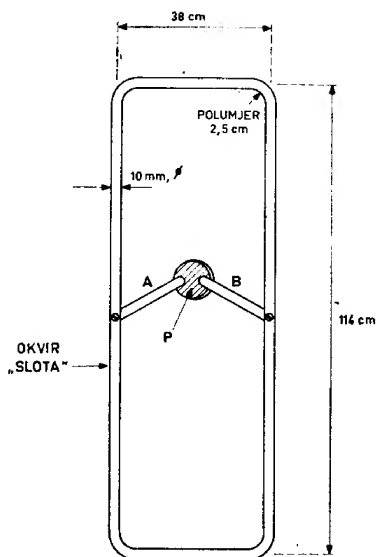
nje maksimalnog dobitka otežano. Svaka promjena dužine parazit-skih elemenata zahtjeva promjenu njihovog položaja i ponovno ugađanje transformatora impedancije za prilagođenje antene na kabel. Kod dvije Yagi antene ove zavisnosti su još kompliciranije. Očekivano udvostručenje snage signala (tj. povećanje dobitka za 3 dB) najčešće se ne može ostvariti i — iza neuspjelih pokušaja — mnogi se radio-amater vraća na dobru, staru, jednostruku »jagicu«!

Ove poteškoće možemo potpuno otkloniti, ako kod dvostruke Yagi antene oba dipola zamijenimo tzv. »Slot-radijatorom« koji nije toliko osjetljiv na promjene impedancije prouzročene prisutnošću parazit-skih elemenata.

Originalni »slot« sa prilagođenjem »delta«

»Slot«, u literaturi poznat i pod imenom »skeleton slot«, što znači »kostur od pukotine«, nastao je iz avionske tzv. »slot-antene«. Antena je na avionu poseban problem. Kad bi bila izvana, onda bi povećala aerodinamički otpor, usporavala bi letenje, a sama bi bila izložena velikim mehaničkim naporima. Kad bi bila u unutrašnjosti aviona, bila bi oklopljena metalnim dijelovima, što bi onemogućilo pravilan rad. Zato su pokušali da kao antenu upotrebe *izrez* (engl. »Slot«) u metalnoj oplati aviona. Takav izrez mogao je biti zatvoren pogodnim izolatorom tako da je avion izvana ostao gladak. Zanimljivo je da se takav izrez ili pukotina može pobuditi na oscilacije i da je ravnina polarizacije emitiranih radio-valova *okomita* na njen smjer. Zasluga je radio-amatera G2HCG da je otkrio kako se umjesto širokog lima oko izreza može uzeti samo metalni okvir. Od pukotine ostaje samo njezin kostur, tj. »*skeleton slot*« ili kraće »*slot*«.

U originalnoj verziji, prema G2HCG, za dvometarski opseg treba »slot« načiniti u obliku okvira



Sl. 19-67. Originalni »slot-radijator« sa prilagođenjem »delta« za napajanje 75-omskim koaksijalnim kablom. Opis u tekstu

koji je 114 cm visok i 38 cm širok. Kao materijal može poslužiti aluminijska šipka ili cijev vanjskog promjera 10 mm (sl. 19-67).

Slot se napaja u sredini dužih stanica pomoću delta-prilagođenja sa kracima A i B od po 29,5 cm dužine. Antenski koaksijalni kabel, karakteristične impedancije 70 do 75 Ω , spaja se direktno na delta-transformator. Kraj kabela treba zaštititi plastičnom kutijicom PL koja je sa obje strane dobro zatvorena poklopcima P' i P, kako je nacrtno na sl. 14-55, dolje.

Originalni »slot« za frekvenciju 432 MHz ima okvir od istog mate-

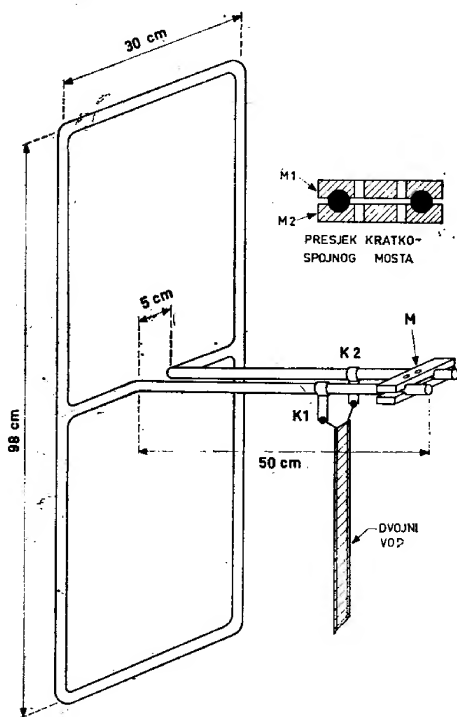
rijala. Visina mu je 38,4 cm; širina 14,6 cm. Delta transformator ima krakove duge 11,1 cm.

»Slot« sa četvrtvalnim resonatorom

Kod originalnog »slot« vezani smo na upotrebu 75-omskog koaksijalnog kabela, što nije uvijek poželjno.

Varijanta, prikazana na sl. 19-68, omogućuje napajanje »slot-radijatora« običnim televizijskim dvojnim vodom ili koaksijalnim kablom od 50 ili 60 Ω uz dodatak poluvalnog baluna (sl. 19-16b) za simetriziranje i prilagođenje (YU2BR).

Okvir, načinjen od aluminijske cijevi ili šipke promjera 10 do 12 mm, ima visinu 98 cm i širinu 30 cm, mjerenu od sredine do sre-



Sl. 19-68. »Slot« sa četvrtvalnim resonatorom koji se može prilagoditi antenskim vodovima različitih impedancija. Vidi tekst

dine nasuprotnih stranica. Tačno na sredini vertikalnih, dužih stranica okvira priključeni su odvod, koji prelaze u resonantni četvrtvalni dvojni vod. On služi za ugađanje i prilagođivanje. Načinjen je od aluminijske šipke ili cijevi promjera 10 mm. Kraci su mu dugački 50 cm i postavljeni paralelno, 5 cm jedan od drugoga.

Četvrtvalni resonator je na svom daljem kraju premošten kratkospojnim mostom. On je u presjeku prikazan na istoj slici. Sastoji se od dva dijela, M_1 i M_2 , u koje su urezani žljebovi. U njih pristaju šipke četvrtvalnog resonatora, pa se most M na njemu može učvrstiti pritezanjem vijaka (zavrtnja, šarafa) kojima se M_1 i M_2 međusobno stisnu.

Obujmice K_1 i K_2 služe za vezu četvrtvalnog resonatora sa antenskim dvojnim vodom ili koaksijalnim kablom.

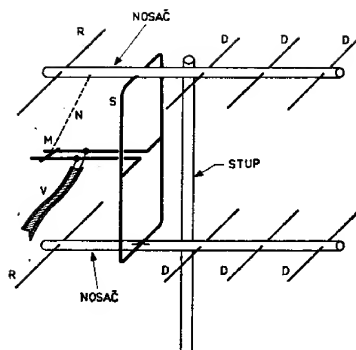
Pomicanjem kratkospojnog mosta dovodi se cijeli okvir u rezonanciju. Naponski čvorovi su na sredini kraćih stranica, gore i dolje. Pomicanjem obujmice K_1 i K_2 moguće je na četvrtvalnom dvojnomo vodu pronaći najraznoličnije vrijednosti impedancije i tako postići upravo idealno prilagođenje.

Za 432 MHz treba samo sve dužine skratiti na trećinu.

Dvoredne, usmjerene antene sa »slotom«

Dvoredne, usmjerene antene sa »slotom« je lako sagraditi, lako ugoditi i prilagoditi.

Bilo koja varijanta »slot«, originalna ili ona sa dodatnim četvrtvalnim resonatorom, stavlja se između dvije Yagi antene i učvršćuje na gornji i na donji nosač antene, upravo na onim mjestima gdje bi inače bili dipoli. Skicu jedne takve dvoredne antene vidimo na sl. 19-69. Parazitski elementi, reflektori i direktori, mogu biti načinjeni od aluminijskih cijevi (10 mm promjera) prema podacima sa tablice 19-4. Montirati ih treba u međusob-



Sl. 19-69. Dvostruka Yagi-antena sa »slot-radijatorom«. »Slot« S zamjenjuje oba dipola, onaj u gornjoj i onaj u donjoj anteni. Reflektori su označeni slovom R , direktori slovom D . M = kratkospojni most na četvrtvalnom resonatoru; N = najlonska nit koja pridržava težinu četvrtvalnog resonatora, opterećenog antenskim vodom

nim razmacima koji su ondje navedeni. Mjesta koja su određena za dipole iskoristit ćemo za učvršćenje »slot«.

Broj elemenata možemo izabrati po želji, »5 iznad 5«, »6 iznad 6« ili »10 iznad 10« (»slot« se broji kao dva elementa u anteni jer zamjenjuje oba dipola, i gornji i donji).

Sa jednakim uspjehom možemo takve antene načiniti bilo za 144 MHz, bilo za 432 MHz.

Antenu sa »slotom«, prema G2HCG, treba samo priključiti na 75-omski koaksijalni kabl. Onu koja ima »slot« sa četvrtvalnim resonatorom treba ugoditi na rezonanciju i prilagoditi na antenski vod. Čitavo ugađanje i prilagođenje svedeno je na dotjerivanje antene za maksimalnu radijaciju prema naprijed. To se postiže tako da se dvoredna antena postavi što više iznad zemlje, ali tako da možemo dohvatiti četvrtvalni resonator. Nasuprot ovoj, barem 10 metara daleko, postavimo pomoćnu antenu, dipol sa germanijevom diodom i miliampermetrom, što smo već ra-

nije opisali. To će nam služiti kao »mjerac polja«.

Kad uključimo predajnik, mjerac polja pokazuje prisutnost radio-valova. Pažljivim pomicanjem kratkospojnog mosta M postići ćemo resonanciju antene, što će se očitovati maksimalnim odklonom kazaljke miliampermetra na mjeracu polja.

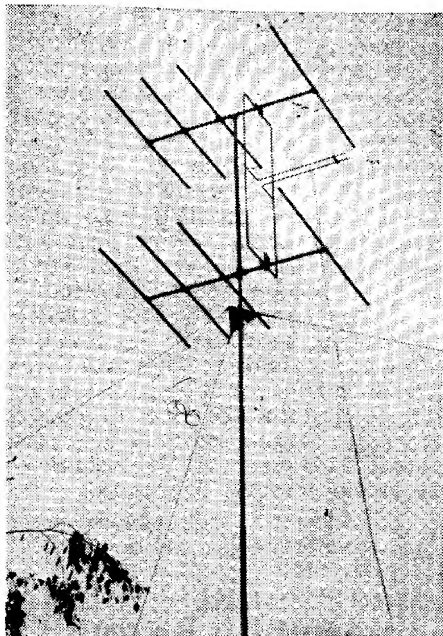
Kad smo to postigli, potražiti ćemo najpovoljniji položaj obujmica K_1 i K_2 na koje je spojen antenski vod. Ako su one, za početak bile negdje usred četvrtvalnog voda, pomicat ćemo ih malo-pomalo prema kratkospojnom mostu, sve dok ne postignemo ponovni, još veći maksimum radijacije. Popravimo li još malo položaj kratkospojnog mosta, redovito će radijacija biti još malo jača. Minimalna korekcija položaja obujmica možda će još malo popraviti prilagođenje. Svaki puta, kad želimo micati ili kratkospojni most ili obujmice, *isključimo* i onda, kad smo promjenu načinili, ponovno *uključimo* predajnik, da ne strada!

Izgled dvometarske, dvoredne antene »5 iznad 5« sa »slotom« koji ima četvrtvalni resonator vidimo na sl. 19-70. Kad je plosnati dvojni vod za napajanje antene bio zamjenjen koaksijalnim kabelom s poluvalnim balunom, mogao se, kod dobro ugođene antene, izmjeriti $SWR = 1:1$.

Sa sličnom dvometarskom antenom »6 iznad 6« i primopredajnikom izlazne snage od 0,65 W postigao je YU2BR, radeći sa Velebitskog vrha Vučjak (1645 m), maksimalni QBR od 450 km za vrijeme nekoliko kontesta. Opis ove antene u časopisu »Radioamater« potakla je i druge da sagrađe takvu antenu. Uloženi trud bio je nagrađen njenim zaista dobrim svojstvima.

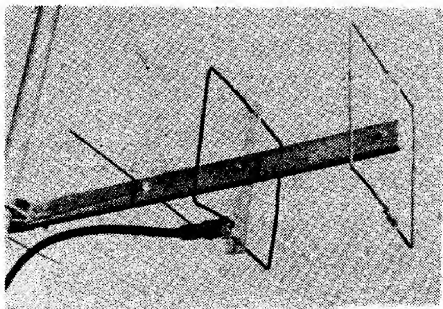
QUAD-YAGI ILI »KVAGI« ANTENA

Ako se ispred »Gubical Quad« antere doda niz direktora, dobije se hibridna antena »Quad-Yagi«,



Sl. 19-70. »Slot« antena za 144 MHz, koja ima ukupno dva reflektora i šest direktora, označuje se kao antena sa »5 plus 5« elemenata. »Slot« vrijedi kao dva dipola

koju nazivaju i »kvagi antena«. Na sl. 19-71 vidimo, sasvim desno, okvir reflektora; lijevo od njega se vidi okvir radijatora koji se di-



Sl. 19-71. »Kvagi« antena je hibridna kombinacija »kvada« i Yagi antene. Na slici se vidi (s desna na lijevo) reflektor, radijator, jedan direktor, antenski stup i dio drugog direktora. Vidi tekst

rektno napaja preko koaksijalnog antenskog kabela. Dalje ulijevo slijeđe direktori u obliku štapova. Zanimljivost ove antene je u tome da nije montirana na metalnom nosaču, već na drvenoj prečki koja je široka 75 i debela 25 mm. Ona može biti iz mekog drveta (jela ili bor). Treba je zaštititi tako da se drvo impregnira nekim pogodnim sredstvom kao što je, npr. »sadorlin« ili slična zaštitna tekućina.

Okviri kvada, reflektor i radiator, mogu se načiniti iz bakra ili aluminija, debljine 3 mm. Direktori mogu biti odrezani od jednako debele aluminijske žice, uredno izravnani i onda zabijeni u drveni nosač, kroz unapred probušene rupe nešto manjeg promjera.

Za one koji vole eksperimentirati s antenama, u tablici 19-6 na-

laze se podaci za gradnju, preuzeti iz Rothammelove knjige o antenama.

DELTA LOOP I DVOSTRUKI DELTA LOOP

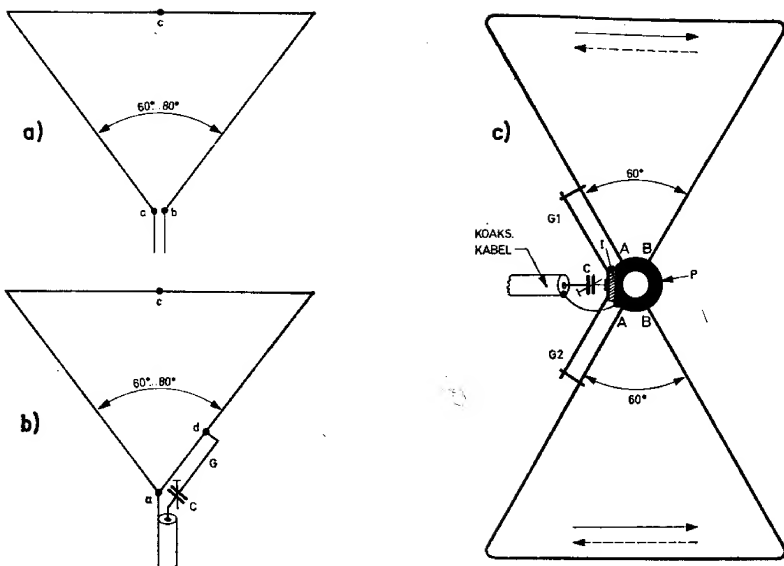
Princip »delta loop« antene

»Delta loop« znači: »petlja u obliku slova delta«; čita se: »delta lup«. Mogli bismo je nazvati i *antenom sa trokutnim elementima*. Njezin radiator, sl. 19-72a i sl. 19-72b, ima oblik grčkog slova »delta« ili trokuta. Jedan od vrhova tog trokuta je okrenut prema dolje. Kraci koji idu prema gore zatvaraju kut od 60° do 80°.

Napajanje trokutnog »delta« radiatora je moguće na dva načina,

Tablica 19-6. Podaci za gradnju »KVAGI« antene (sl. 19-71), prema K. Rothammel-u (Y21BK). Vidi i tekst

Amatersko valno područje:	2 m	70 cm
Resonantna frekvencija antene:	144,5 MHz	432 MHz
Opseg reflektorskog okvira:	2200 mm	711 mm
Opseg radijatorskog okvira:	2083 mm	676 mm
Dužina direktora D_1 :	913 mm	299 mm
Dužina direktora D_2 :	908 mm	297 mm
Dužina direktora D_3 :	903 mm	295 mm
Dužina direktora D_4 :	899 mm	293 mm
Dužina direktora D_5 :	894 mm	292 mm
Dužina direktora D_6 :	889 mm	291 mm
Daljina reflektor-radijator:	533 mm	178 mm
Daljina radijator — D_1 :	400 mm	133 mm
Daljina D_1 — D_2 :	838 mm	279 mm
Daljina D_2 — D_3 :	445 mm	149 mm
Daljina D_3 — D_4 : i dalje:	663 mm	222 mm
Dužina cijele antene:	4205 mm	1405 mm



Sl. 19-72. »Delta Loop« antena: a) radiator deltalup antene sa direktnim napajanjem; b) zatvoreni okvir trokutastog oblika sa ugađanjem pomoću »gama« prilagođenja, vidi tekst; c) dvostruki deltalup, osobito pogodan za UKV-antene. A i B su tačke u kojima su učvršćeni trokutasti »delta« radijatori. P = aluminijski prsten; I = izolacija; C = kondenzator za ugađanje; G₁ i G₂ = dvostruko gama-prilagođenje. Vidi također sl. 19-73

direktno (sl. 19-72a) ili pomoću prilagođivača »gama« (sl. 19-72b), kako smo to već opisali kod kvad-antene.

Jednak trokut, nešto većih dimenzija od radijatora, može biti upotrebljen kao reflektor. Također je moguće slične trokute upotrebiti kao direktore. Oni, dakako moraju biti nešto manji od radijatora. Dimenzije nije teško izračunati. Za delta-lup antenu od tri elementa vrijedi:

$$\begin{aligned} \text{Opseg radijatora (m)} &= \frac{306,3}{\text{frekv. (MHz)}}, \\ \text{Opseg reflektora (m)} &= \frac{329}{\text{frekv. (MHz)}}, \\ \text{Opseg direktora (m)} &= \frac{297}{\text{frekv. (MHz)}}. \end{aligned}$$

Razmak između reflektora i radijatora neka bude $0,13 \lambda$, a razmak između radijatora i direktora $0,095 \lambda$.

Moguće je načiniti i delta-lup antenu koja ima samo dva elementa. U tome slučaju preporučuju da razmak između radijatora i reflektora bude nešto veći: $0,19 \lambda$. Kažu da je bolje dvoelementnoj anteni ove vrste odrediti dimenzije ovako:

$$\begin{aligned} \text{Opseg radijatora (m)} &= \frac{311}{\text{frekv. (MHz)}}, \\ \text{Opseg reflektora (m)} &= \frac{319,5}{\text{frekv. (MHz)}}. \end{aligned}$$

Antena tipa »delta-lup« ima prednosti pred »kvadom«, osobito u mehaničkom pogledu. Što se tiče antenskog dobitka, o tome kolaju

svakojake priče. Ozbiljno uzevši, *ne bi trebalo očekivati* da u tome pogledu dvoelementna »delta-lup« nadmašuje pravi »cubical quad«.

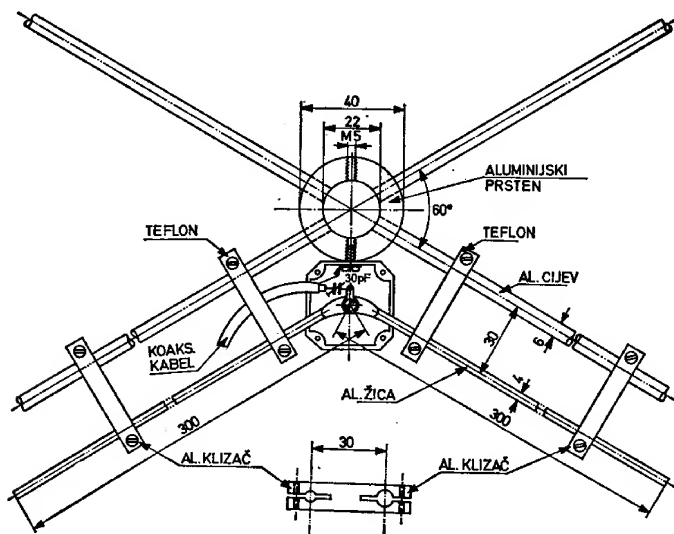
Dvostruka »delta loop« antena

U nekoliko proteklih godina je kod naših amatera postala vrlo popularna dvometarska varijanta delta-lup antene. Njen izgled je, u prvi moment, neobičan. Radijator, kao i svi ostali elementi antene imaju *leptirasti izgled*, sl. 19-72c. Sastoji se od po dva trokutasta elementa delta-antene, sastavljena svojim vrhovima.

Najraširenija je *dvostruka delta-lup antena* koja ima ukupno 9 takvih elemenata. Od njih je jedan iskorišten kao reflektor, drugi kao radijator, a preostalih 7 su reflektori. Takva je varijanta ove antene opisana i u našem časopisu »Radio-amater« (11/81), otkuda prenosimo i podatke.

Svi delta-elementi su *istostranični* trokuti, što znači da su im *sve stranice međusobno jednake* i da su svi unutrašnji kutevi, pa tako i onaj gdje je element učvršćen, po 60° . Načinjeni su od 6 mm debelih aluminijskih šipki i usađeni u aluminijski prsten, prema sl. 19-72c (kod A i B) i sl. 19-73.

Radijatorski element se pobuđuje *udvostručenim gama-prilagođivačem* (sl. 19-73). On je načinjen od aluminijske žice promjera 4 mm, dugačke 2×300 mm. U svojoj sredini je splošten, da se može probušiti rupica (3,2 mm) za vijak kojim je učvršćena »kabelska papučica« za spoj sa trimerskim kondenzatorom (30 pF, maks). Ovu žicu drže dva »klizača« iz teflona i dva iz aluminijske. Aluminijski se mogu pomicati da se pronađe optimalna dužina za gama-prilagođenje. Razumije se, udaljenosti od sredine do jednog i do drugog aluminijskog klizača moraju biti sasvim jednake.



Sl. 19-73. Skica za izradu aluminijskog prstena i gama-prilagođenja, upoređi sa sl. 19-72. Kondenzator C ima 30 pF i smješten je u izoliranoj, plastičnoj kutijici. Ostalo u tekstu

Ostali elementi antene ne razlikuju se od radijatora osim po nešto drukčijim dimenzijama i po to-

za reflektor	....	742 mm,
„ radijator	....	705 mm,
„ 1. direktor	....	665 mm,
„ 2. „	....	655 mm,
„ 3. „	....	645 mm,
„ 4. „	....	635 mm,
„ 5. „	....	625 mm,
„ 6. „	....	615 mm,
„ 7. „	....	605 mm,

Razmaci između elemenata ispisani su u desnoj koloni. Nosač antene mora biti čvrst, najbolje od dur-aluminija s promjerom 22 mm. Potrebna dužina je 3580 mm.

Ako su svi elementi postavljeni onako, kako je nacrtano na sl. 19-72c, polarizacija emitiranih valova je horizontalna. Okrenemo li antenu za 90° , tako da su »leptirova krila« lijevo i desno, polarizacija će biti vertikalna. O tome odlučuju visokofrekventne oscilacije u nasuprotnim kracima trokutastih elemenata, kako je to strelicama naznačeno na sl. 19-72c.

Ovakva leptirasta antena, sa ukupno 9 dvostrukih delta elemenata, može se uporediti sa dvorednim Yagi-antenaма koje imaju *dvaput po 9 elemenata* ili ukupno 18 elemenata. U »Radio-amateru« se kaže (YU2LW) da su mjerenja antenskog dobitka (YU2RBM i YU2RIZ) dala rezultat od 14 dB. Ako pogledamo na sl. 19-59, možemo se lako uvjeriti da je *14 dB mjerenog antenskog dobitka* sasvim realan broj. To znači da antena emitira snagu koja je, »prema napred«, 25 puta veća. *Ekvivalentna emitirana snaga* (ERP = Equivalent Radiated Power) malog 10-vatnog UKV predajnika, zahvaljujući anteni, poraste na 250 W! Dakako, antenski dobitak se »osjeti« i kod prijema.

KOLINEARNE ANTENE

Vertikalna kolinearna antena »RINGO 2M«

»RINGO 2M« je antena kružne karakteristike zračenja. Ona zrači

me što na njima nema ništa za prilagođenje. Svaka stranica trokuta ima redom:

razmak	.....	300 mm,
„	.....	400 mm,
„	.....	355 mm,
„	.....	505 mm,
„	.....	505 mm,
„	.....	505 mm,
„	.....	505 mm,
„	.....	505 mm,

položito, prema horizontu i zato je rado upotrebljavana za vezu sa mobilnim stanicama. Antena, sl. 19-74, sastoji se od dva radijatora, A i B, koji titraju istim fazama. Da se to omogući, uključena je petlja C (provučena kroz izolator I_1). Taj izolator rastavlja dio A od dijela B. Oni su u vezi samo preko C.

Čitava antena je izolirana na donjem kraju od svog nosača N izolatorom u obliku čepa, I_2 . Na donjem kraju antene je prsten od aluminija, neka vrsta *gama-prilagođenja*, namotanog u krug. Dobro prilagođenje treba postići pomicanjem stezaljke D po krugu, dok se postigne najbolji odnos SWR, što bliže jedinici. Također je potrebno postići da cijela antena resonira na radnu frekvenciju. Ukoliko će antena služiti za veze sa frekventnom modulacijom (FM) u opsegu između 145 i 146 MHz, bit će najbolje da antenu ugodimo na frekvenciju oko prve trećine tog opsega. Na resonanciju utječu dužine A, B i C. Ugađa se gledajući na mjerač polja (vidi poglavlje 21). Resonancija je postignuta ako mjerač polja pokazuje maksimum, uz istovremeno najmanji SWR (vidi također poglavlje 21). Kad je resonancija postignuta, ove dužine će biti:

A	.....	140,5 do 141 cm,
B	.....	126,5 do 128,3 cm,
C	.....	21,2 do 22,9 cm,

mjereći od površine izolatora I_2 do I_1 , od I_1 do vrha i od I_1 do kraja petlje C.

Antenski dobitak je blizu 3 dB iznad dipola ili blizu 6 dB iznad četvrtvalne vertikalne antene.

Kolinearna UKV antena sa 16 elemenata

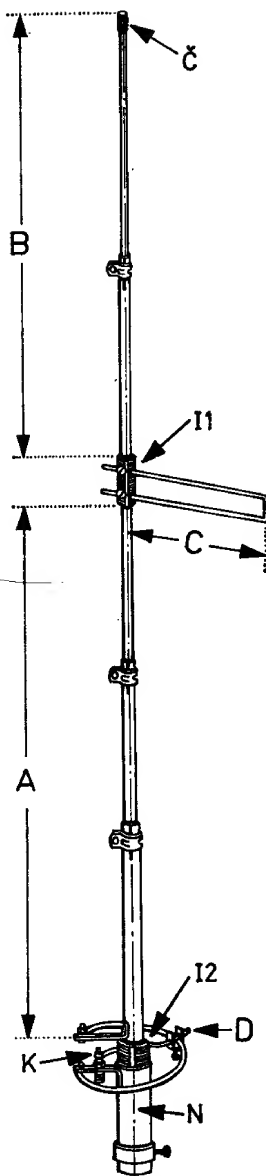
Kod kratkovalne antene »lijeno H« sreli smo se sa četiri poluvalna dipola koji su bili postavljeni jedan uz drugi i pobuđeni istim fazama. Takav »kolinearni« antenski sistem može se za ultrakratke valove proširiti podvostručenjem broja dipola i dodatkom reflektora, prema sl. 19-75. Tako je nastala kolinearna UKV antena sa ukupno 16 elemenata: 8 dipola i 8 reflektora.

Prema dimenzijama dipola i reflektora može se takva antena načiniti ili za 144 ili za 432 MHz. Dužine dipola i reflektora mogu se naći na tablici 19-4. Bliži krajevi susjednih dipola udaljeni su jedan od drugoga oko 9 cm za 144 MHz ili oko 3 cm za 432 MHz. Parovi dipola stoje jedan iznad drugoga u daljini koja je jednaka polovici dužine vala. Iza njih su, za 0,2 dužine vala prema natrag, postavljeni reflektori.

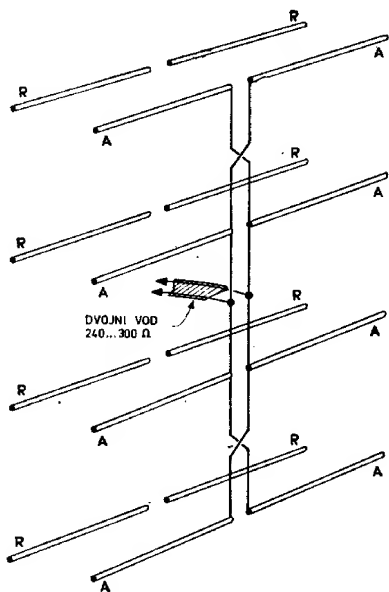
Dipoli su međusobno povezani otvorenim dvojnim vodom na koji je, u njegovoj sredini, spojen antenski plosnati kabel (ili koaksijalni kabel sa balunom). Vrijednost impedancije antene na tome mjestu je 240 do 300 Ω . Tačno prilagođenje ($SWR = 1:1$) može se postići istovremenim malim promjenama udaljenosti svih reflektora.

Sve elemente treba montirati na nosač koji može biti načinjen iz drveta ili iz metala. Elemente je najbolje učvrstiti u njihovoj sredini, gdje je visokofrekventni napon jednak nuli. Treba paziti da antenski elementi budu uvijek ispred svih nosača, osobito ako su oni iz metala.

Ovakva antena može dati pojačanje snage signala (dobitak) od 10 do 12 dB, dakle manje nego Yagi antena sa jednakim brojem eleme-



Sl. 19-74. Antena »Ringo-2M« je kolinearna antena sa kružnom karakteristikom zračenja. K = koaksijalna priključnica za antenski kabel; N = nosač; I₁ i I₂ = izolatori (PVC ili teflon); Č = čep na vrhu cijevi; A i B = dijelovi antene koji zrače; C = previnuti vod za promjenu faze;



Sl. 19-75. Kolinearna UKV antena sa 16 elemenata. Od toga je 8 dipola (A) i 8 reflektora (R)

nata. Ali zato kolinearna antena zrači »šire« pa je ne treba tako često okretati.

SPREZANJE VEĆEG BROJA ANTENA

Dvoredne, usmjerene antene koje se sastoje od dvije Yagi-antene, postavljene paralelno jedna pored druge, kao npr. ona na sl. 19-69, moraju na neki način biti i međusobno povezane, *spregnute*. Kao pribor za sprežanje tamo je iskorišten tzv. »slot-radijator«. On se pokazao vrlo dobrim za međusobno sprežanje Yagi-antena koje nisu predugačke.

Što su Yagi antene duže, sa većim brojem elemenata, potrebno ih je jače razmaknuti, ukoliko želi-

D = kontakt koji se učvršćuje na kružni gama-prilagođivač. Opis u tekstu

mo ona teorijom obećavana 3 dB dobitka uz udvostručenje antena. Prevelik razmak također ne smije biti. Tada se, naime, pojavljuju još neki *nepoželjni smjerovi emisije* ustranu i prema natrag. Treba pronaći *kompromisno rješenje*.

Sigurno je da bi se optimalna odluka mogla donijeti onda, ako bismo u *detalje* poznavali *sva* svojstva antena koje želimo spregnuti. Do toga bismo mogli doći samo na temelju opsežnih mjerenja za koje amater redovito neće imati *ni instrumentarija ni mogućnosti*. Možemo se poslužiti nekim *pravilima*, osnovanim na takvim mjerenjima i *na iskustvu*.

Razmaci za maksimalni dobitak (pojaćanje, »gain«), mjereni od sredine nosača jedne do sredine nosača druge Yagi antene, mogu se izračunati tako da se dužina antene pomnoži sa 0,75.

Razmaci između antena za postizavanje pretežnog emitiranja prema napred, uz napuštanje želje za maksimalnim dobitkom, bili bi za kraće Yagi antene (do četiri elementa po anteni) oko $0,5 \lambda$. Razmaci između dužih Yagi antena (do deset elemenata) mogli bi biti veći, približno $0,65 \lambda$. Ovo odgovara razmacima koji se postižu primjenom »slot-radijatora« (sl. 19-68 i sl. 19-67). Takve faktore navodi i K. Rothammel u svojoj knjizi o antenama. Isti autor navodi i drugačiju mogućnost određivanja toga razmaka, tj. prema broju elemenata.

Za *najveći dobitak* sa dvije, paralelno postavljene antene on preporučuje slijedeće razmake između njih:

Broj elemenata:	Razmak između antena:
3	$0,70 \lambda$
4	$0,77 \lambda$
5	$0,86 \lambda$
6	$0,95 \lambda$
7	$1,05 \lambda$
8	$1,13 \lambda$
9	$1,20 \lambda$
10	$1,30 \lambda$

Kako vidimo, razmak se ovdje određuje *u ovisnosti o dužini vala* (λ). Dobitku pojedine Yagi antene može se tako dodati vrijednost od — u praksi — najviše 2,4 dB do 2,7 dB.

Daljnje povećanje dobitka, možda za slijedeća 2,7 dB (ili ukupno za najviše 5,4 dB) postiže se povećanjem broja antena na *ukupno četiri*. Kako spregnuti četiri antene? Koliki treba biti razmak?

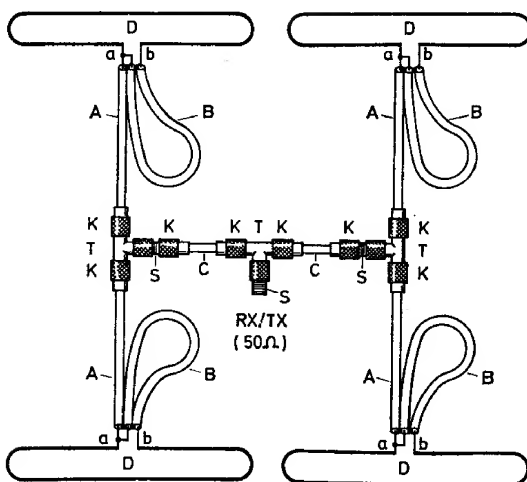
Najčešće se četiri Yagi antene stavljaju tako da njihovi nosači prolaze vrhovima kvadrata kojima je međusobni razmak u skladu sa gornjim pravilima, prema sl. 19-76. Slova *D* označeni su dipoli u četiri Yagi antene. Svaka od njih ima svoj balun za simetriziranje priključka ($B = k \cdot \lambda/2$), kao na sl. 19-16b. Komadi kabela *A* moraju biti *potpuno jednaki*, a dužine im moraju biti tolike da se postigne željeni razmak između antena. Zaključeni su koaksijalnim utikačima *K*, a međusobno su spojeni koaksijalnim *T*-spojnicama.

Lijevi i desni par antena povezane su poprečnim dijelovima koaksijalnog kabela *C*, koji moraju imati dužinu jednaku *cijelom neparnom* broju četvrtina valne dužine ($C = k \cdot \lambda/4$), gdje je *k* tzv. *faktor skraćanja* za upotrebljeni kabel. Dužina kabela *C* računa se zajedno sa koaksijalnim utikačima na *svakoj strani*! Slovom *S* označena je koaksijalna spojnica koja ima na obje strane utičnicu.

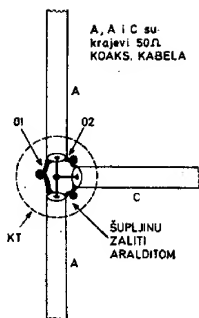
Svi kabelski komadi u toj sprezi, kao i priključni kabel koji se spaja kod *RX/TX* imaju karakterističnu impedanciju od 50 Ω .

Ovako se mogu povezati i četiri dvoredne antene sa slot-radijatorima (sl. 19-69) i tako povezati ukupno osam »jagica«!

Kod ovakvog sprežanja većeg broja antena treba strogo paziti da priključni kabelskih dijelova *A* i baluna *B*, kod *a* i *b* na pojedinim antenama budu načinjeni baš onako kako je nacrtano, inače dobitka nema.



Sl. 19-76. Sprežanje grupe od četiri Yagi antene pomoću 50-omskog koaksijalnog kabela. Vidi tekst



Sl. 19-77. Sastavljanje komada koaksijalnog kabla lemljenjem, pazeći na propisane dužine (vidi tekst). Metalni oplet na krajevima svakog kabla treba rasplesti i rastaviti u dva dijela O_1 i O_2 , usukati ih i međusobno zalemiti. Srednje vodove treba također međusobno zalemiti. Sve zajedno možemo zatvoriti u šuplju kutijicu (KT) koju onda zalijemo, npr. »aralditom«, i tako osiguramo od prodora vlage

Upotreba koaksijalnih utikača, T-spojnica i dvojnih utičnica nije uvijek »poželjna«, jer su ti elementi prilično skupi. Možemo ih izbjeći ako spojeve između pojedinih dijelova koaksijalnog kabla načini-mo prema sl. 19-77.

LOGARITMIČKO PERIODIČNA ANTENA

U novije vrijeme se mnogo piše, a još više govori, o logaritmičko-periodičnim antenama. To je posebna vrsta širokopojasnih antena koje se mogu graditi za vrlo široke opsege frekvencija. Kolikogod bilo široko to područje, logaritmičko-periodična antena kod svih obuhvaćenih frekvencija zadržava u podjednako mjeri sva svoja svojstva. Antenska dobit ni u kojem slučaju nije veća od 8,5 dB, ali je zato pri-gušenje signala »prema natrag« vrlo veliko, 25 do 35 dB.

Logaritmičko-periodičnih antena (LPA) ima više vrsta, sa različitim

oblicima elemenata. Svima je zajedničko to da se raspored elemenata i njihove dimenzije odabiru prema pravilima, koja su određena posebnim logaritmičkim redovima matematičkih veličina.

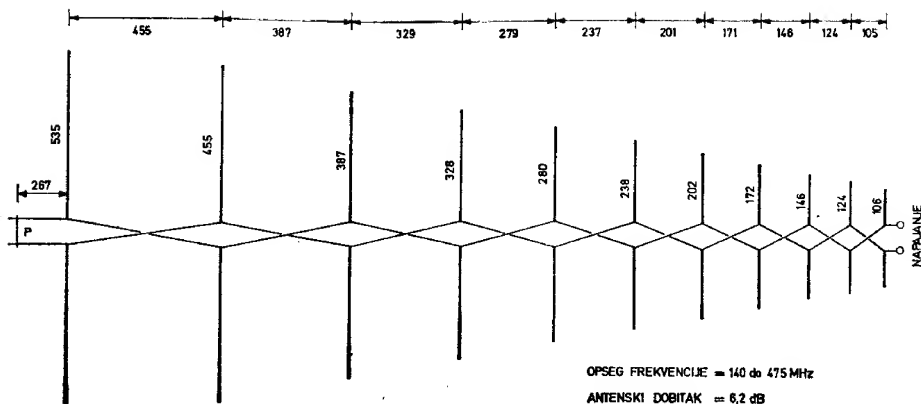
Takvu je antenu najlakše sagra-diti iz aluminijskih cijevi ili štapi-ća, od kojih su načinjeni dipoli različitih veličina. Tada antenu nazi-vaju »logaritmičko-periodična di-polska antena« (LPDA).

Prešlo bi okvire ove knjige, kad bismo htjeli objasniti matematičke osnove na kojima počiva rad ove vrste antena i kad bismo navodili detaljnije formule za izračunavanje potrebnih konstrukcijskih detalja. Koga interesira može o tome više naći u Rothammel-ovoj knjizi o antenama. O kvaliteti knjige govori i činjenica da je to djelo istočnonje-mačkog autora prevedeno na više svjetskih jezika. Mi ćemo, za naše čitatelje, dati prikaz samo jedne varijante LPDA, na sl. 19-78.

To je primjer 11-elementne ante-ne, koja — prema Y21BK — može raditi na svim frekvencijama izme-đu 140 i 475 MHz. Prema tome ona obuhvata i dvometarsko i 70-centi-metarsko amatersko područje. Upotrebljene su aluminijske cijevi vanjskog promjera 10 mm. Sve glavne dimenzije su na sl. 19-78. Ukupna dužina antene iznosi 243,6 cm.

Svaki dipol se sastoji od dvije polovice koje se u njegovoj sredini napajaju uzdužnim dvojnim vo-dom. Ovome se vodovi, od dipola do dipola, ukrštaju, kako je nacr-tano. Najveća mehanička poteško-ća kod gradnje je u tome da ovaj uzdužni dvojni vod za napajanje mora imati impedanciju od 105 Ω , što znači da obje žice moraju biti blizu jedna uz drugu i međusobno izolirane (sl. 19-7). Također nije sa-svim jednostavno ni učvršćivanje dipola. Oni moraju biti izolirani od antenskog nosača.

Antenu treba napajati sprijeda. Priključna vrijednost impedancije iznosi oko 92 Ω . Može se, uzevši u



Sl. 19-78. Logaritmičko periodična antena za opseg od 140 do 475 MHz.
Vidi tekst

obzir nešto veći SWR, napajati kabelom od 75 Ω ili uz primjenu prilagodnog baluna.

Važna je, iako ne previše kritična, i petlja *P*, uz najduži dipol. Ona je dugačka oko 1/8 najveće dužine vala.

Antenski dobitak je 6,2 dB. U mnogim »pričama« o takvim antenama čuju se veći brojevi, ali priče su ... priče! Ipak je ova vrsta antena za neke svrhe veoma pogodna zbog svoje širokopoljnosti. Ona ne obuhvata samo dva amaterska UKV opsega, već i sve frekvencije između njih. Ali, to za amatera nema, nažalost, nikakvog značenja. Ima li onda svrhe graditi antenu sa 11 elemenata, kad se za ista ta dva UKV opsega mogu načiniti dvije antene, svaka samo sa tri do četiri elementa uz čak malo veći dobitak? Jedino bi odnos napred-natrag bio lošiji.

NEKOLIKO NAPOMENA

Učvršćenje antene

Svaka antena mora biti dobro učvršćena da je ni jak vjetar ne može srušiti i baciti s krova. Njezino učvršćenje ne smije oslabiti krovnu konstrukciju. Osim toga, uz antenski stup za vrijeme kiše ne

smije prodirati voda na tavan ili u stanove.

Kao antenski stup najbolje će poslužiti željezna pocinčana ili zaštitnom bojom premazana cijev. Njen unutrašnji promjer neka bude najmanje 25 mm. Za »Long Yagi« ili neku drugu antenu većih dimenzija dobro je uzeti cijev koja ima i veći promjer od toga.

Mehanizam za ručno okretanje antene, ako je potreban; neka bude što jednostavniji i što solidniji. Uređaji za usmjeravanje televizijskih antena također se mogu upotrebiti za okretanje lakših antena. U tim uređajima postoje električni motori i zupčanici za redukciju broja okretaja. Za pokazivanje smjera antene oni imaju poseban indikator koji se stavlja u blizinu same radio-aparature. Ima ih i domaće proizvodnje, npr. »TUA-10« ili »TUA-10/1« (Elektronska industrija, Niš). Za amatere je bolji ovaj drugi. Njegov motorski dio postavlja se direktno na vrh antenskog stupa, dok njegov komandni dio stoji u blizini operatora. Rotator se može opteretiti antenom koja je teška do 10 kg. Čitav okret traje jednu minutu. Priključuje se na izmjenični napon od 220 V. Između motorskog i komandnog dijela stavlja se električni kabel sa pet žica.

Uzemljenje

Zbog mogućnosti udarca munje (groma) antenski stup treba uzemljiti, tj. spojiti sa dobrim zemljovodom. Neka to bude po mogućnosti *drugi* zemljovod, a ne onaj koji služi za uzemljenje same radio-aparature. Spoj sa vodovodnim cijevima, sa cijevima centralnog grijanja i slično *ne smije se upotrebiti* kao zaštitni zemljovod! Za ovu svrhu će najbolje poslužiti *poseban* spoj sa zemljom.

U dovoljnoj dubini, najmanje 1 m ispod površine, u vlažni sloj, zabije se ili ukopa neka metalna

šipka ili limena ploča. Ovo treba spojiti sa žicom koja će biti »zemljovod«. Njen presjek neka bude najmanje 4 do 6 mm².

Vezu antenskog voda sa predajnikom i prijemnikom treba isključiti uvijek, kad radio-stanica ne radi, osobito za vrijeme oluje. Vezu sa antenom bi trebalo prekidati posebnim preklopnikom. Takav preklopnik bi bilo dobro staviti izvan kuće ili barem ondje gdje antenski vod ulazi u kuću.

U slijedećem poglavlju opisano je još nekoliko antena manjih dimenzija, pogodnih za održavanje radio-veza iz vozila u pokretu (»mobile«) ili pomoću prenosnih stanica (»portable«).

PREVOZNI I PRENOSNI RADIO-UREĐAJI

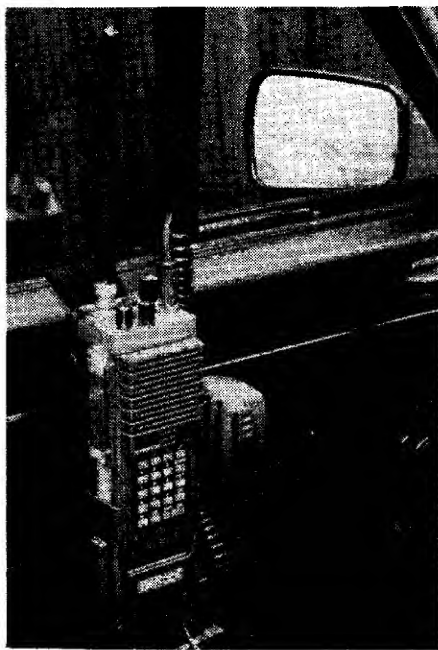
RADIO-STANICA KAO PRATILAC
NA PUTOVANJU I NA IZLETU.
PRIJATELJ U NEVOLJI

Broj automobila već godinama raste. Ima već priličan broj motoriziranih radio-amatera. Mnogi od njih imaju u automobilu i radio-stanicu, pogotovo otkad je kod nas postavljeno toliko UKV repetitora da se odasvud može preko njih uspostaviti veza.

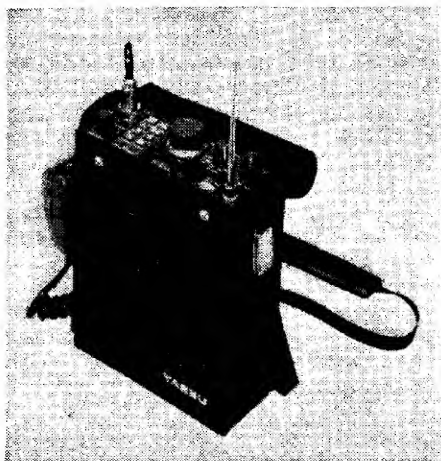
»Mobilna« oprema se redovito sastoji od primopredajnika za frekventno modularanu telefoniju na dvometarskom opsegu, snage oko 10 W. Nekima je snaga i nešto veća, ali ih ima i sa znatno manjom. Takav primopredajnik manje snage služi im i u automobilu (sl. 20-1), kao i izvan njega. »Motorizirani« uspješno povezuju dvije tehničke grane. Gotovo da nema sata tokom dana, da se preko repetitora ne čuju radio-amaterski razgovori i da »eterom« ne putuju pozivi »CQ MOBIL...«.

Mi već duže vremena imamo znatan broj malih prenosnih radio uređaja. Njihova tehnička opremljenost postaje iz godine u godinu sve bolja, bez obzira na to da li su to uređaji iz samogradnje ili tvorničke proizvodnje. Takve male radio-stanice (sl. 20-2) su male težine, sadrže svoje ugrađene baterije i malu antenu. Prenosna radio-stanica može amatera pratiti na svakom putovanju i na svakom izletu. To su oni uređaji s kojima su se naši radio-amateri, organizirani u tzv. radio-mreži za opasnost (RMZO), već mnogo puta — zajed-

no sa ostalim »stacionarnim« i mobilnim stanicama — proslavili održavajući veze i pomažući prilikom zemljotresa i poplava, u potrazi za rijetkim lijekovima i svuda gdje mogu sebe i svoje uređaje staviti u službu onih kojima je potrebna najhitnija pomoć.



Sl. 20-1. Savremeni prenosni radio-uređaji i primopredajnici su male ni i lagani. Primopredajnik (FT-207R) za 144 MHz ili FT-708R za 432 MHz imaju isti izgled) može se upotrijebiti i iz automobila, kao »mobilni«



Sl. 20-2. Čitava mala radio-stanica može se smjestiti u torbu. Tu je primopredajnik sa svojom antenom i mikrofonom, kao i sa ugrađenim baterijama, uvijek pripravan za upotrebu na svakom mjestu

Prilikom različitih amaterskih »kontesta« redovito se čuju sve brojniji pozivi »CQ, CQ PORTABL...«. To su amateri koji su otišli sa svojim uređajima »na teren«, do planinarskih domova (sl. 20-3) da odonud ili sa planinskih vrhova (sl. 20-4), kao ekipa ili pojedinačno, pokušaju uspostaviti što dalje i što kvalitetnije veze, telefonijom i telegrafijom.

Danas se u svim pokretnim radio-stanicama mogu naći još samo tranzistori i integrirani sklopovi. Elektronske cijevi su potpuno napuštene, budući da jedino poluvodički aktivni elementi mogu raditi uz neophodno potreban malen potrošak električne energije. Njihova ekonomičnost, male dimenzije, neosjetljivost na mehaničke vibracije i izvanredna pouzdanost u radu učinili su ih nezamjenljivima na ovome polju.

U konstruktivnom pogledu nema principijelnih razlika između radio-uređaja koji se obično upotrebljavaju »stacionarno«, u klubu



Sl. 20-4. Radioamater se sa svojom samograđenom stanicom smjestio negdje u našem planinskom kamenjaru koji mu služi kao »portable QTH«. Planinarenje i radio-amaterstvo se mogu lako udružiti

ili kod kuće, i onih koji su »pokretni«. Odlučujuću ulogu imaju mogućnosti energetskih izvora. Prema tome se mora ravnati i snaga predajnika. Mobilne stanice su prilagođene za pogon iz automobilskeg akumulatora. Za pogon prenosnih stanica obično služe suhe galvanske



Sl. 20-3. Grupa radio-amatera smjestila se na terasi planinarskog doma, pripremila radio-uređaje i... za koju minutu će početi internacionalni amaterski UKV kontest...

baterije ili mali akumulatori. Općenito se može reći da je snaga stacionarnih stanica najveća. Mobilnim radio-stanicama je snaga manja, dok je prenosnim stanicama snaga najmanja. Unatoč tome njihovi operatori postižu zapažene uspjehe radeći sa različitih planina, služeći se upravo nevjerovatno malim snagama.

IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POKRETNE RADIO-STANICE

Galvanske baterije

U mnogim prenosnim radio-uređajima služe *suhe baterije* kao izvor električne energije. Nezgodna im je strana da imaju veoma ograničen kapacitet. Plosnata džepna baterija od 4,5 V ima kapacitet od 1,5 do 2 Ah (ampersati). Pojedinačni suhi galvanski elementi promjera 34 mm imaju, uz napon od 1,5 V, kapacitet od 4 do 6 Ah; oni s promjerom od 26 mm samo 2 do 2,5 Ah.

Sasvim mali elementi i minijaturne baterije, kakve se upotrebljavaju u običnim tranzistorskim prijemnicima, mogu poslužiti i u radio-amaterskim tranzistorskim KV ili UKV prijemnicima. Za predajnike i primopredajnike su daleko preslabi.

»Dvanaest-voltna« baterija koja je sastavljena od tri plosnate džepne baterije po 4,5 V ima, dok je svježja, napon od 13,5 V. Upotrebimo li je u nekom tranzistorskom primopredajniku, onda on kod emisije smije trošiti struju koja odgovara oko 10% kapaciteta. To bi za predajnik bilo do 200 mA. Ako prijemnik ne troši više od 40 do 50 mA, a vremena prijema i emisije se odnose kao 4 : 1, napon baterije će od početnih 13,5 V pasti na približno 10 V nakon 4 do 5 radnih sati. Ako baterije nisu bile sasvim svježije, to će se dogoditi i znatno ranije.

Uz pogonski napon oko 10 V izlazna snaga je osjetljivo smanjena a signal više nije sasvim dobar. Iza toga, kad napon padne ispod 10 V, ugrađena stabilizacija više ne radi i radne tačke svih tranzistora se toliko poremete da je uređan rad potpuno onemogućen. Veze više ne uspijevaju, a od signala preostaje još samo neko nerazumljivo »krkljanje« koje smeta svim ostalim stanicama.

Ako se dakle kod prenosnih primopredajnika služimo suhim baterijama, bezuvjetno je potrebno da kontroliramo napon za vrijeme rada. Osim toga mora nam biti poznato do kojeg najnižeg napona može naš uređaj ispravno raditi. Kad je napon pao na tu vrijednost, treba promijeniti baterije ili prestati sa radom.

Mali nikalj-kadmijevi akumulatori

Mali, hermetički zatvoreni, akumulatori koji su poznati pod imenom nikalj-kadmijevi (NiCd) daju stalnije napone, oko 1,2 V po članku (čeliji). Tek potkraj svog kapaciteta (obično oko 450 mAh), kad su ispraznjeni, napon naglo pada.

Za njihovu upotrebu, a posebno za njihovo punjenje strujom, *treba se držati svih uputa proizvođača*. U pravilu, takav akumulator ne bi trebalo puniti strujom koja bi bila jača od $1/10$ *iznosa kapaciteta*. To znači da se NiCd-akumulator kapaciteta 450 mAh smije puniti strujom koja ne prelazi 45 mA. Želimo li ga prazniti kroz 10 sati sa 45 mA, moramo ga puniti 14 sati, ukoliko nije tvornica drukčije odredila u svojim uputama. To znači, također, da bi takav akumulator sa kapacitetom od 2 Ah trebalo puniti kroz 14 sati sa 0,2 A.

Olovni i čelični akumulatori

Olovnim akumulatorima napon od 2 V po elementu ostaje gotovo stalan za cijelo vrijeme praznjenja,

tek potkraj pomalo pada na 1,9 V. Kada padne na 1,8 V, bezuvjetno je potrebno da se akumulator *odmah* puni propisanom jakošću struje. Za vrijeme punjenja napon ubrzo poraste na 2,1 V, zatim nešto polakše na 2,2 da potkraj punjenja naglije skoči na 2,7 V. Taj napon akumulator neće zadržati. On se odmah poslije punjenja smanji na 2 V po elementu. Akumulatori, osobito oni manji, kakvi se upotrebljavaju kod motocikla (motor-kotača), mogu poslužiti i za pogon malih prenosnih, tranzistorskih primopredajnika.

Čelični akumulatori imaju za vrijeme punjenja maksimalan napon od 1,82 V, dok im je srednji napon za vrijeme pražnjenja oko 1,2 V po elementu. Prazniti ih možemo sve do napona od 1 V.

Upotreba akumulatora nije bez opasnosti za radio-uređaje, jer je za njih jednako opasna sumporna kiselina olovnih, kao i kalieva lužina čeličnih akumulatora. Ako nismo *sasvim sigurni* da tekućina ne može isticći ili isparavati iz akumulatora, bolje je da akumulatorsku bateriju držimo u posebnoj kutiji, podalje od primopredajnika.

Nikad ne bi trebalo istovremeno upotrebljavati obje vrste akumulatora. Kad bi i sami tragovi lužine dospjeli i olovni akumulatori ili tragovi kiseline u čelični, bili bi trajno upropašćeni!

Akumulatori će nam dugo i dobro služiti, ako se u svemu budemo držali svih uputa proizvođača.

Ako neki akumulator, kojegod vrste, možemo prazniti nekom strujom (npr. sa 5 A) kroz 10 sati, onda kažemo da je »kapacitet« akumulatora jednak umnošku jakosti struje i vremena (npr. $5 \text{ A} \times 10 \text{ h} = 50 \text{ Ah}$ ili 50 »ampersati«).

Zbog neizbježivih gubitaka moramo isti akumulator istom jakošću struje puniti duže! Olovne akumulare treba puniti do 20%, a čelične 30 do 40% duže.

Općenito se može razlikovati četiri različita načina punjenja akumulatora (u zagradi jakost struje za 50 Ah kapaciteta):

- a) strujom za održavanje (20 do 50 mA),
- b) polagano, normalno punjenje (5 A ili manje)
- c) ubrzano punjenje (15 A) i
- d) vrlo brzo punjenje (50 A).

Struja za održavanje primjenjuje se onda ako se akumulatorska struja ne troši, ali on mora biti pripravan da radi punim svojim kapacitetom. Jakost struje za polagano, normalno punjenje odgovara desetom dijelu kapaciteta akumulatora i traje kod olovnog 12 sati, kod čeličnog akumulatora 13 do 14 sati.

Ubrzano punjenje strujom koja iznosi do 30% vrijednosti kapaciteta *ne podnosi svaki akumulator!* Najbolje podnose takvo punjenje automobilske olovne akumulatori jer između svojih ploča imaju posebne pregrade, tzv. »separatore«. Ako za neki akumulator nismo sigurni, ako tvornica to u svojim uputama izričito ne dozvoljava, onda nećemo akumulator ubrzano puniti!

Vrlo brzo punjenje najčešće nije dopušteno, osim kod sasvim izuzetnih akumulatora. »Obični« akumulator ne bi podnio brzo punjenje tako jakom strujom!

Već kod normalnog punjenja, a pogotovo kod ubrzanog, moramo čepove skinuti sa svih članaka (čelića). Pri punjenju se razvijaju plinovi koji bi mogli svojim *povećanim tlakom* oštetiti akumulatorsku posudu i ploče. Ovi plinovi su *redovito eksplozivni*. Zato *ni u prostoru* gdje se pune akumulatori, a pogotovo *ne u njihovoj blizini*, ne unositi ili približiti otvoren plamen ili iskru.

Da vanjska površina akumulatora, priključne klemine i kabeli moraju uvijek biti čisti, jedva da bi trebalo reći.

Automobilski akumulator

Automobilski akumulator ima 12 V i redovito je sastavljen od šest olovnih akumulatorskih elemenata. On se automatski puni iz posebnog dinama, a njegova struja služi za pokretanje i za paljenje motora, kao i za rasvjetu.

U automobilu se akumulatorska baterija upravo nudi kao izvor električne energije za pogon mobilne radio-stanice. U principu je svaki 12-voltni akumulator sposoban za takvu primjenu, ako vodimo računa o kapacitetu akumulatora, ako regulator za punjenje akumulatora iz automobilskeg dinama prilagodimo većem potrošku i, konačno, ako kod priključivanja radio-uređaja pazimo na *polaritet*. Jedan od polova akumulatora je uvijek spojen »na masu«, na metalnu konstrukciju kola. To može biti bilo pozitivni, bilo negativni pol, ovisno o tipu vozila i o tvornici koja ga je proizvela. Ovo treba prije priključivanja provjeriti. Sam priključak treba izvesti isključivo preko *posebnog osigurača* da u slučaju nekog kratkog spoja ne dođe do požara!

Iako je sasvim razumljiva i opravdana upotreba istog akumulatora i za pogon prevoznih radio-uređaja treba to načiniti uz potreban oprez. Prejako dodatno praznjenje akumulatora moglo bi lako

onemogućiti njegovu primarnu namjenu. Mnogi »mobilni« ostao je poslije uspješno održanih radio-veza na mjestu, jer je akumulator bio toliko ispražnjen da se motor nije više mogao pokrenuti! Kapacitet automobilskeg akumulatora je predviđen za njegovu normalnu upotrebu u samim kolima.

Za taj problem postoje uglavnom tri rješenja. Prvo je rješenje najsigurnije: povesti drugi akumulator koji će služiti isključivo za pogon radio-uređaja, bez ikakve veze sa instalacijom u kolima. Drugo rješenje je: koristiti postojeći automobilski akumulator, ali priključiti takve radio-uređaje koji troše malo električne energije. I jedno i drugo ima svojih loših strana. Treće, najmodernije rješenje problema je i najbolje: onaj »drugi« akumulator priključiti tako da se za vrijeme vožnje puni, ali ga prazniti tako da to nema utjecaja na »glavni« akumulator vozila.

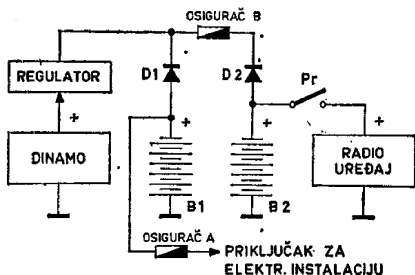
Treće rješenje je prikazano na sl. 20-5. Akumulatorska baterija B_1 stalno je u vozilu. B_2 je dodatni, drugi akumulator. Osim njega potrebne su još dvije snažne diode, predviđene za opterećenja strujama od 70 do 100 A. Takve diode se proizvode i kod nas (»Ei-Niš« i »Iskra« — Ljubljana).

Osigurač A je normalan osigurač koji postoji u svakom automobilu. Osigurač B svakako moramo dodati da unaprijed spriječimo svako štetno razaranje eventualnim kratkim spojem.

Pad napona na diodama, kroz koje se pune oba akumulatora, iznosi najmanje 0,7 do najviše 1 V. Zbog toga treba regulator udesiti tako da dinamo daje toliko veći napon. Ovo neka nam načini mehaničar kod kojeg obavljamo redovni servis kola.

Prekidačem Pr uključuje se struja iz akumulatora B_2 i vodi u radio-uređaj koji također mora imati ugrađen propisan osigurač.

Kroz diode može električna struja teći samo jednim smjerom,



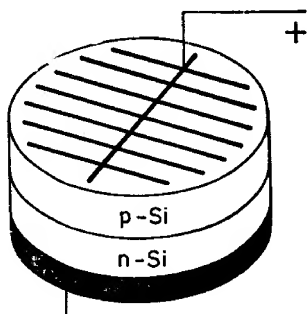
Sl. 20-5. Ovako se u automobilu može dodati pomoćna akumulatorska baterija, bez opasnosti da radio-uređaj isprazni glavni akumulator

a ne obrnuto. Zato možemo akumulator B_2 bez brige prazniti. Električna struja iz akumulatora B_1 ne može teći prema B_2 . On ostaje pun i pripremljen za svoj normalan rad bez obzira na stanje akumulatora B_2 .

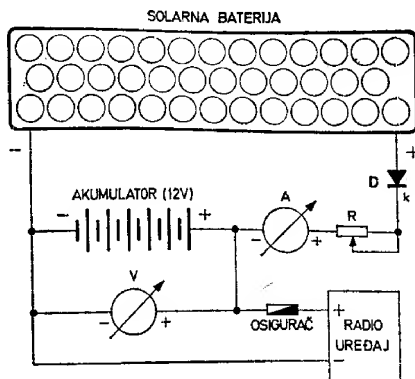
Sunčane ili solarne baterije

»Fotoelektrična pojava« ili fotoefekt otkriven je još 1888, kad je Hallwachs opazio da se elektricitet može sa vodiča izgubiti ako je osvijetljen ultraljubičastim zrakama. Prvi upotrebljivi foto-elementi koji su mogli dati električnu struju djelovanjem svjetlosti načinjeni su više od 50 godina kasnije. Pomalo su usavršavani, toliko da su 1954. najbolji selenski foto-elementi mogli iskoristiti najviše 0,5% energije sunčane svjetlosti. U to vrijeme načinjeni su i prvi silicijevi fotoelementi (Chaplin, Fuller i Pearson) koji su odmah pokazali daleko bolja svojstva, veći napon i iskorištenje oko 6%. Današnji silicijevi fotoelementi iskorištavaju blizu 14% one sunčane energije koja na njih padne u obliku svjetlosti. Još bolje iskorištenje energije, blizu 18%, postiže se danas fotoelementima iz galijevog arsena.

Silicijev fotoelement sastoji se od poluvodiča n-tipa, debelog oko 0,3 mm sa slojem p-tipa na njemu.



Sl. 20-6. Solarni element daje električnu struju iz energije sunčane svjetlosti. Opis u tekstu



Sl. 20-7. Solarna baterija, preko diode D , puni akumulator za napajanje radio-uređaja električnom energijom. Vidi tekst

Debljina tog sloja je oko 0,3 μm (»mikrona«!) Također je moguća i drukčija kombinacija slojeva. Sloj n-vodljivosti je »dolje«, sl. 20-6. Na njemu je tanak sloj p-vodljivosti. Kontakt s ovim tankim i prozirnim slojem postiže se rešetkastim trakama od naparenog metala. Napon dosiže do 0,45 V po elementu. Jakost struje koju element može dati ovisi o njegovoj površini. Što je površina poluvodičke pločice veća, jakost struje koja će se moći koristiti bit će veća.

Da se postignu veći naponi treba više fotoelemenata spojiti u seriju. Obično ih je 36 do 38 elemenata u seriji. Maksimalni napon takve sunčane (solarne) baterije iznosi onda 16,2 do 17,1 V, uz maksimalnu sunčanu svjetlost. Ako je sunčana svjetlost slabija i napon baterije je niži.

Na sl. 20-7, sasvim principijelno, prikazan je jednostavan solarni energetski izvor. U seriju sa solarom baterijom mora se staviti zaštitna dioda D , ako želimo da nam se puni akumulator. Ako se sunčana svjetlost oslabi ili je nema (oblak, noć), potekla bi vrlo jaka struja iz akumulatora natrag, kroz sunčanu bateriju, ona bi se pregrijala i uni-

štita! Prisutnost diode *D* ovo može spriječiti.

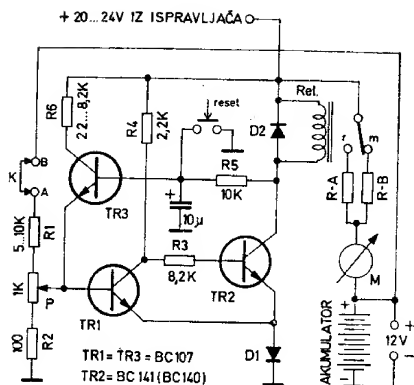
Radio-uređaj se električnom energijom napaja iz akumulatora. Mjerni instrumenti, voltmetar i ampermetar nisu neophodni, ali *osigurač* jest. U slučaju kratkog spoja moglo bi doći do pregaranja vodova i do požara, ali također i do preterčenja solarne baterije.

Solarne (sunčane) baterije pomalo stižu i u trgovačku mrežu. Cijena im je još prilično visoka. Ipak ima dvometarskih i sličnih *repetitora*, *postavljenih na planinama*, kod kojih je jedini izvor napajanja *Sunce i njegova svjetlost*. Akumulator je potreban da se može uređaje održati u pogonu i onda kad nema sunca, osobito po noći.

Uređaji za kontrolu punjenja akumulatora

Da punjenje ne bi predugo trajalo, što bi nekim vrstama akumulatora moglo naškoditi, potrebno je da se punjenje nakon određenog vremena prekine. To se može postići i nekim satnim mehanizmom. Bolje je da se struja prekine kad je akumulator napunjen. Na akumulatorskim polovima napon *pred kraj punjenja naglije raste*. Da ne bismo morali gledati na voltmetar, možemo tu »brigu« prepustiti elektrici!

Na sl. 20-8 je shema uređaja za kontrolu punjenja akumulatora. Tranzistori *TR₁* i *TR₂* rade u okidačkom sklopu (Schmitt-trigger) koji, dok na bazi tranzistora *TR₁* nema dovoljno velikog napona, kolektorskom struom tranzistora *TR₂* »drži« relej. Njegov radni kontakt *r* je zatvoren i akumulator se puni preko otpornika *R-A*. Ovaj ograničuje jakost struje na dozvoljenu mjeru, što se može provjeriti ampermetrom *M*. Napon se sa akumulatora odvodi na razdjelnik napona *R₁/P/R₂*. Klizač na potencijometru možemo postaviti tako da okidač djeluje čim napon na akumulatoru

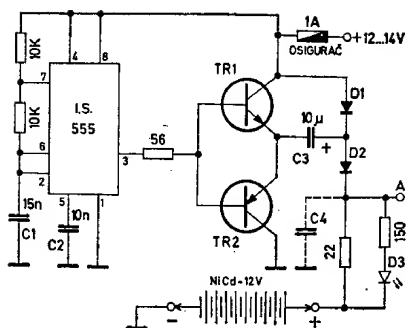


Sl. 20-8. Shema elektroničkog automata za kontrolu punjenja akumulatora. Opis u tekstu

dosegne neku odabranu vrijednost. Da unapred odredimo kod kojeg će to napona biti, prekinemo kratkospojnik *K* i razdjelnik napona (kod *A*) spojimo na neki izvor kojemu se napon može mijenjati. Potencijometar ostaje u položaju kad uređaj okida kod, npr. 14,5 V. Kratkospojnik stavimo iza toga natrag. Uređaj će djelovati kad napon akumulatora dosegne predviđenu visinu. Tranzistor *TR₁* provede struju i smanji napon na bazi tranzistora *TR₂* toliko da ovaj više ne može propuštati struju. Releji »otпусти«, radni se kontakt *r* prekine i spoji se mirni kontakt releja *m*. Jakost struje je sada određena otpornikom *R-B*. Njega ćemo odabrati tako da kroz akumulator teče još samo struja održavanja.

Tranzistor *TR₂* također provede struju kada okidač proradi. On sprečava da se uređaj sam vrati u stanje kod kojega bi se opet punio akumulator. Mi to možemo, ako je potrebno, ponovno postići. Treba pritisnuti tipku »reset« i sve se vraća u prvobitno stanje; akumulator se ponovno puni.

Ako već imamo ispravljač za punjenje akumulatora, sa svojim transformatorom i sklopom za ispravljanje i ograničenje struje punje-



Sl. 20-10. Uređaj za punjenje akumulatora (NiCd) malog primopredajnika iz automobilskog akumulatora

sl. 20-10. Shema odgovara ispravljačima sa udvostručenjem napona!

Integrirani sklop 555 oscilira frekvencijom od 3,3 kHz dajući četvrtast napon kojemu se amplituda mijenja od blizu nule do blizu 12 V. Napon se dobije na priključnici br. 3. Taj je izlaz »visoko« u trajanju od 200 μ s i, iza toga, »nisko« u trajanju od 100 μ s. Preko otpornika od 56 Ω četvrtasti napon djeluje na baze tranzistora TR_1 i TR_2 . Prvi od njih je tipa N-P-N, a drugi je P-N-P.

Nisko stanje izlaza »integrirca« 555 otvara tranzistor TR_2 . Preko tranzistora TR_2 elektrolitski kondenzator C_3 dobije vezu sa minus-polom, a preko diode D_1 sa plus-polom i nabije se na napon koji je malo manji od 12 V. Moramo, naime, odračunati pad napona na diodi i na tranzistoru! Iza toga izlaz integriranog sklopa dođe u visoko stanje. Sad se otvori tranzistor TR_1 i spoji pogonski napon od 12 V i napon na kondenzatoru C_3 u seriju. Kroz D_2 poteče struja u NiCd-akumulator. Igra se iza toga ponavlja, C_3 se ponovno nabije i malo poslije, opet prazni kroz NiCd-akumulator. Tako se ovaj pomalo, nešto češće od 3000 puta u sekundi, puni! U tački A se može mjeriti napon od blizu 20 V dok nema opterećenja.

Ako je NiCd-akumulator priključen, napon malo padne, ali je dovoljan da kroz otpornik od 22 Ω (koji služi za ograničenje jakosti struje) teče oko 150 mA. Ova jakost struje ovisi o naponu automobilskog akumulatora. Dok je auto parkiran, napon je manji. Struja punjenja je oko 130 do 140 mA. Za vrijeme vožnje, dok je na auto-akumulatoru nešto veći napon zbog rada dinam, i NiCd-akumulator se puni jačom strujom, oko 180 mA. NiCd-akumulator kapaciteta 500 mAh može se tako napuniti za 4 do 5 sati. Želimo li da struja punjenja bude slabija, možemo serijski otpornik od 22 Ω povećati koliko je potrebno. Predviđen je i indikator sa svijetlećom diodom D_3 . Otpornik od 150 Ω je njena zaštita.

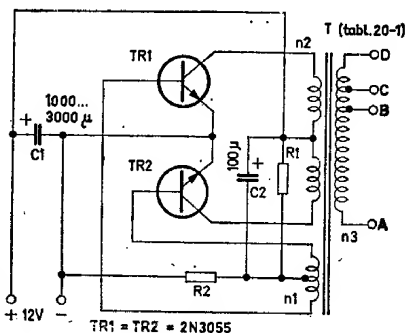
Za pokus smo načinili takav uređaj. Upotrebili smo naš domaći par tranzistora. Bili su to germanijevi tranzistori AD 161 i AD 162. Dioda D_1 i D_2 bile su silicijeve ispravljačice. Uređaj je vrlo dobro radio, baš kako je opisano.

PRENOSNI GENERATORI IZMJENIČNE STRUJE

Tranzistorski pretvarači struje

Najjednostavniji generatori izmjenične struje koji se lako prenose i koji, priključeni na 12- ili na 24-voltni akumulator, daju izmjeničnu struju su *tranzistorski pretvarači*. Možemo ih načiniti na više načina. Opisat ćemo dva takva uređaja.

Samo dva snažnija tranzistora potrebna su za strujni pretvarač prema sl. 20-11. Na transformatoru su tri namotaja. Onaj koji ima n_2 zavoja je kolektorski, dok onaj sa n_1 zavoja pripada strujnom krugu tranzistorskih baza i služi za *povratnu vezu*. Razdjelnik napona R_1/R_2 osigurava pravilnu radnu tačku da se oscilacije mogu pobuditi, čim se priključi istosmjerni pogonski napon iz akumulatora. Ako se



Sl. 20-11. Pretvarač napona koji, priključen na akumulator od 12 V, daje izmjenični napon od 220 V. Zavojnice n_1 i n_2 namataju se »bifilarno« tj. po dvije žice jedna uz drugu, prema tablici 20-1. Na istoj tablici su i podaci za zavojnicu n_3 , kao i za otpornike R_1 i R_2 . Vidi tekst

oscilacije ne pobude, znak je da priključci baza ili priključci kolektora nisu pravilno načinjeni. Trebat će zamijeniti priključke zavojnice n_1 na tranzistorima. Onaj kraj ove zavojnice koji je bio spojen s prvim tranzistorom, spojiti ćemo s drugim, a na prvi ćemo spojiti onaj kraj zavojnice n_1 koji je bio na bazi drugog tranzistora. Podaci za namatanje transformatora su na tablici 20-1.

Izmjenična struja na sekundarnoj strani (namotaj n_3) ima četvrtast oscilogram. Zavojnica ima tri izvoda da se izlazni napon može malo mijenjati i prilagoditi potrošnji. Ako se frekvencija ove izmjenične struje ne razlikuje za više od $\pm 5\%$ do 50 Hz, to neće u većini slučajeva biti od neke važnosti. Ako je razlika veća, onda treba frekvenciju popraviti promjenom presjeka jezgre. Kod preniske frekvencije ćemo jednu ili više željeznih pločica iz jezgre izvaditi. Ako je frekvencija previsoka, moramo jednu ili više pločica dodati. Pritom treba frekvenciju mjeriti tako da pretvarač opteretimo onoliko, koliko će biti opterećen u redovitoj upotrebi!

Tablica 20-1. Podaci za namatanje transformatora za strujne pretvarače, sl. 20-11 i sl. 20-12

Pogonski napon (V)	Korisna snaga (W)	Jezgra od transformatorskog željeza	Zavojnica n_1 (*)		Zavojnica n_2		Zavojnica n_3		Otpornici	
			broj zavoja	žica CuL (mm)	broj zavoja	žica CuL (mm)	broj zavoja	žica CuL (mm)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
12	50	M 85/32	2 × 20	0,4	2 × 50	1,3	970 + 40	0,4	470	27
24					2 × 103	0,9	+ 40		1000	
12(*)	100	M 102/36	2 × 16	0,6	2 × 38	1,7	745 + 35	0,6	220	12
24					2 × 78	1,2	+ 35		470	
12	200*)	M 130/45	2 × 13	0,7	2 × 30	2,2	600 + 30	0,8	150	8,2
24					2 × 62	1,7	+ 30		330	

*) Samo za pretvarač prema sl. 20-11. Vidi tekst.

Končarovi strojevi su veći, građeni su za opterećenja počevši sa 2,5 kW.

Pomoću takvih strojeva može se svaka radio-stanica održati u pogonu neovisno o električnoj mreži, u »portablu« i u izvanrednim uvjetima rada, kao što su potresi, poplave i slično.

Da ne ulazimo u detalje, koji su za različite strojeve različiti, napomenut ćemo da je prije upotrebe takvih strojeva bezuvjetno potrebno *pažljivo pročitati* sve upute i *za vrijeme rada*, a osobito prije nego li se stroj spremi *poslije upotrebe* (!), držati se svega onoga što preporučuje tvornica koja je stroj proizvela. Samo tako će stroj ispravno i dugo služiti namijenjenoj svrsi. I struja koju iz stroja vodimo u radio-uređaje bit će tada ispravnog napona i predviđene frekvencije.

Tko se o stroju ne brine kako treba i ne održava ga i ne čuva, neka se ne čudi da mu stroj ne radi onda, kad ga najviše treba! A onda ne treba optuživati tvornicu.

Ispravan stroj je prava blagodet na »terenu« i on može potpuno zamijeniti priključak na električnu mrežu izmjenične struje.

ANTENE POKRETNIH RADIO-STANICA

Kad se danas govori o pokretnim stanicama, onda znamo da nema oštre granice između »pokretnih« i »stacionarnih«. Mnogi savremeni primopredajnici, kao što su FT-101-ZD, FT-107, FT-707, da spomenemo samo neke od poznatih kratkovalnih uređaja, predviđeni su za priključak na električnu mrežu izmjenične struje, ali *također na akumulator* ili niskonaponski ispravljač. I njih je moguće upotrebiti kao »pokretne«, ukoliko samo imamo dovoljno snažan akumulator jer — uz napon od 13,5 V — troše do 20 A struje. Akumulator nešto većeg kapaciteta to lako može dati, tim prije što je takav potrošak samo za vrijeme rada predajnika. Za prijem je potrošak mnogo manji.



Sl. 20-13. Savremeni dvometarski primopredajnik male snage. Na nje ga je učvršćen držač za montiranje u automobilu. Ispod njega je linearno pojačalo koje daje izlaznu snagu od 10 W. Osim frekventnom modulacijom, »simpleks« i preko repetitora, sve više se »iz mobila« čuju i SSB-signali



Sl. 20-14. Tri popularna prenosna primopredajnika imaju isti izgled: IC-215 za FM na »dva metra« i IC-202 (E i S) za CW i SSB u dvometarskom opsegu i IC-402 za CW i SSB u 70-centimetarskom opsegu

Drukčije je ako govorimo o »mobilnim« i o »portabl« primopredajnicima.

Mobilni, prevozni radio-uređaji najčešće su manje snage. Do 10 W, rijetko nešto više, dosta je u automobilu. Mobilni primopredajnik je danas redovito predviđen za rad sa frekventnom modulacijom, iako ih u najnovije vrijeme ima i takvih koji omogućuju rad svim vrstama signala: FM — simpleks i preko repititora; SSB — gornji ili donji bočni pojas; pa čak i telegrafijom (sl. 20-13). U takvom je slučaju najbolje prepustiti volan u ruke XYL i posvetiti se održavanju veza (HI), ukoliko — što se također često događa — XYL ne uzme u ruke mikrofon... Dobro je i jedno i drugo rješenje, daleko bolje nego da vozač ima u jednoj ruci mikrofon a u drugoj volan. *Sigurnost u prometu treba ipak biti na prvome mjestu!*

Kad se govori o prenosnim »stanicama«, obično mislimo na male, lako prenosive primopredajnike (sl. 20-14) male mase, sa ugrađenim baterijama i antenom.

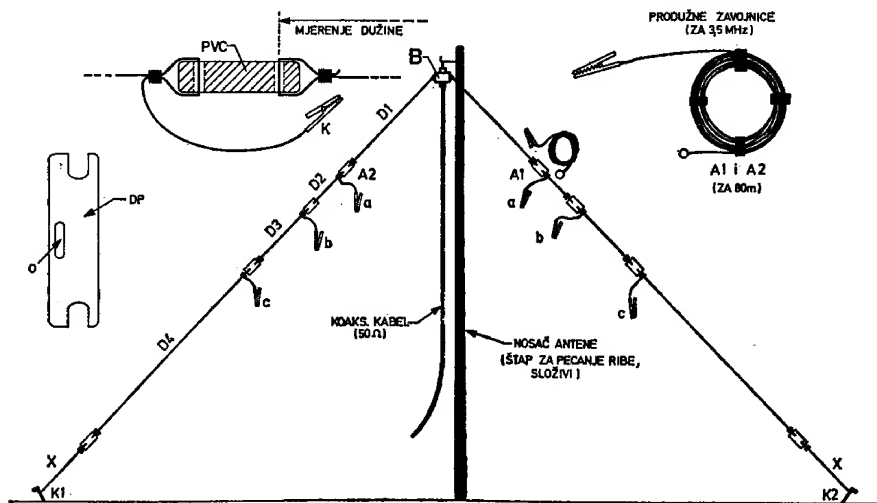
Za toliko različitu opremu, različite valne opsege i različite namje-

ne, i antene mogu biti najraznoličnije. Ovdje ćemo pokazati nekoliko, osobito pogodnih za rad izvan stalnog QTH.

Antene za kratke valove

Ima antena, opisanih u 19. poglavlju koje bi se mogle upotrebiti i izvan naselja, u prirodi. Općenito treba nastojati da se antena pripremi tako da je se lako može postaviti, »razmontirati« i prenositi. Možda je upravo nedostatak takvih, specijalno pripremljenih antena, jedan od razloga da se razmjerno rjeđe susrećemo u prirodi sa amaterima koji rade »iz portabla« s kratkovalnim primopredajnicima. Daleko više ih je koji rade na UKV opsezima, osobito na dvometarskom. Pokušajmo to stanje promijeniti.

Antena na sl. 20-15 može se upotrebiti za rad na bilo kojem kratkovalnom području. U principu, to je *dipol kojemu možemo mijenjati dužinu* i tako ga prilagoditi radnoj frekvenciji. Ako njegov srednji dio podignemo nekoliko metara u vis, imat ćemo neku vrstu »okrenutog



Sl. 20-15. Kratkovalna antena za sve opsege može biti lagana i vrlo dobra pri radu »na terenu«. Vidi opis u tekstu i podatke na tablici 20-2

Tablica 20-2. Dužine žica za antenu prema sl. 20-15

Četvrtvalna dužina žice = $0,95 \frac{\lambda}{4} = \frac{71250}{f(\text{kHz})}$ (m)			
Frekvencija (kHz)	Četvrtvalna dužina žice (m)	Razlika dužine (m)	Komadi žice za antenu*)
28500	$A = 2,50$	—	$D_1 = 2,50$ m
21100	$B = 3,38$	$B - A = 0,88$	$D_2 = 0,88$ m
14100	$C = 5,05$	$C - (A + B) = 1,67$	$D_3 = 1,67$ m
7050	$D = 10,11$	$D - (A + B + C) = 5,06$	$D_4 = 5,06$ m

*) Napomena: Dužine žica treba mjeriti od rupe u izolatoru na jednoj strani, sve do 1 cm od vrha krokodilske štipaljke na drugoj strani žice (vidi sl. 20-15).

Za 80-metarski opseg dodaju se produžne zavojnice A_1 i A_2 , između žice D_1 i D_2 . Svaka produžna zavojnica ima po 8 do 9 zavoja sa promjerom od 20 cm. Za svaku zavojnicu treba oko 5 m iste žice od koje je načinjena antena.

ve». U takvom položaju ovu antenu može držati neki dugački i sklopivi štap, kakav inače upotrebljavaju »ribiči« i »pecaroši«. Što je takav štap duži, to bolje.

U sredini antene, u najvišoj tački, stavlja se balun (1 : 1) da bi se simetrična antena mogla napajati nesimetričnim koaksijalnim kabe- lom (50 Ω).

Žica od koje je načinjena antena ima dva kraka i razdijeljena je u pojedine komade. Njih možemo, prema potrebi, međusobno spajati »krokodilskim« štipaljkama i tako joj mijenjati dužinu. Ako su lijevo i desno od baluna B samo najkraći »kraci« antene (D_1) ona može raditi na najvišim frekvencijama. Koliko će to biti, ovisi o tome što želimo. Neka to bude, npr. 10-metarski opseg. Ako »krokodilom« a žici D_1 dodamo još žicu D_2 (sa svake strane!), radna frekvencija može biti niža opet po našem izboru, npr. za 15-metarski opseg. Tako možemo dodavati i daljnje komade žice: štipaljkom b dodati još D_3 i, konačno, štipaljkom c komad D_4 .

Na tablici 20-2 je prikaz proračuna za gradnju takve antene. Kao i svaki dipol, i ova je antena poluvalna. To znači da joj ukupna duži-

na mora odgovarati polovici valne dužine za radnu frekvenciju. Na svakoj strani od baluna, prema tome, mora biti četvrtina vala. Da izračunamo kolika će biti četvrtvalna dužina žice, moramo uzeti u obzir i tzv. »faktor skraćanja« jer se elektromagnetski val uzduž žice širi manjom brzinom nego li kroz slobodan prostor. Nećemo pogrešiti ako kao faktor skraćanja uzmemo 0,95 i ako upotrebimo običnu elektroinstalatersku žicu sa presjekom 0,75 mm², izoliranu polivinilkloridom (PVC). U formuli:

$$D = \frac{71250}{f(\text{kHz})} \text{ (metara)}$$

treba samo uvrstiti frekvenciju. Uvrstit ćemo u račun onu frekvenciju koja je negdje u sredini opsega (ili u sredini dijela opsega) u kojemu želimo raditi. Za naš primjer predviđene su frekvencije 28500 kHz, 21100 kHz, 14100 kHz i 7050 kHz. Razumije se da, tko želi, može odabrati i druge frekvencije ili čak drukčije opsege, pa i one najnovije koje očekujemo u najskorije vrijeme.

Kao izolatore između pojedinih komada žice možemo staviti komade »juvidura«, dugačke oko 6 cm.

To mogu biti komadi odrezani od okruglih štipača ($\varnothing =$ oko 10 do 12 mm) ili izrezani iz ploča. Debljina nije kritična. Otprilike 1 cm od svakog kraja takvog izolatora treba probušiti rupu da se kroz nju može provući žica. Žice treba na krajevima da budu nešto duže, da se mogu, kad budu provučene kroz rupe na izolatorima, učvrstiti i zalemiti. Jedan kraj žica D_2 , D_3 i D_4 ima na svom kraju »krokodil«. Taj kraj mora, od izolatora do 1 cm od vrha krokodilske štipaljke biti dugačak 10 cm i uključen u dužinu žice.

Na kraju svakog kraka antene, iza D_4 , vezano je polivinilsko ili najlonsko užo za napinjanje antene, dugo barem 2 do 3 metra. Ovi nemetalni produžeci (X i X) vežu se za klinove (K_1 i K_2) koji su zabijeni u zemlju ili za neko drugo čvrsto uporište u prirodi.

Za prelaz sa jednog kratkovalnog područja na drugo nije teško prilagoditi antenu i odabrati joj »pravu« radnu, »aktivnu« dužinu.

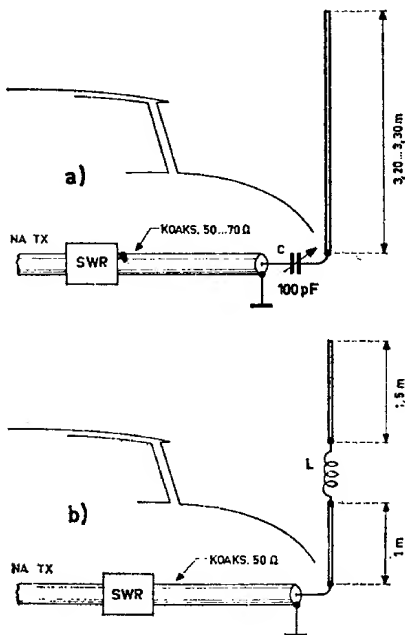
Za »transport« čitavu antenu možemo namotati na drvenu ploču, skrojenu kao na skici, DP, sa izreznim otvorom O . Taj izrez pri namatanju ili odmatanju antene omogućuje da možemo spretnije držati rukom. Dužina ove ploče može biti 50 do 60 cm.

U tablici 20-2 nema podataka za dužinu antene kod nižih frekvencija, npr. za 80-metarsko područje. Moglo bi se i to izračunati na isti način, ali — antena bi za laku i brzu upotrebu, a pogotovo za postavljanje i pakovanje u prirodi bila malo predugačka! Zato je bolje, prema ideji DK9SQ (»cq-DL«, 5/1982), antenu za rad na 80-metarskim frekvencijama »električki« produžiti. U tu se svrhu, između žice D_1 i žice D_2 , kod A_1 i A_2 dodaju produžne zavojnice. Svaka ima po 8 do 9 zavoja sa promjerom od 20 cm. Za svaku zavojnicu je potrebno oko 5 metara iste žice od koje je načinjena antena. Na jednoj strani produžnih zavojnica je krokodilska štipaljka a na drugoj kolutić od iste, očišćene

i pokositrene (kalajisane) žice. Svojom krokodilskom štipaljkom se zavojnica priključi na donji kraj žice D_1 , dok se »krokodil« koji pripada gornjem kraju žice D_2 spaja s drugim krajem zavojnice.

Induktivitet takve zavojnice može se mijenjati na jednostavan način. Ako je oblik zavojnice pravilan, kružni, induktivitet je najveći. Ako je stisnemo tako da joj se oblik izduži, da postane ovalna, induktivitet se smanjuje. Na taj način se brzo i lako (paziti na simetričnost!) obje zavojnice prilagode radnoj frekvenciji. Treba gledati na SWR-metar. Zavojnice su na taj način, stiskanjem, pravilno ugođene kad je SWR najmanji mogući.

Kratkovalna antena za rad iz automobila je prikazana na sl. 20-16.



Sl. 20-16. Automobilaska antena za kratke valove montira se obično na poseban izolator, učvršćen na stražnjem odbojniku: a) za 28 MHz; b) za frekvencije između 21 i 3,5 MHz
Vidi tekst

To je redovito vertikalna antena. Nažalost, ona je za većinu kratkovalnih opsega prekratka. Mobilna kratkovalna antena *ne može biti po volji dugačka*, jer ne smije smetati saobraćaju, ne smije zapinjati za tramvajske žice ili za podvožnjake, kao ni za grane drveća.

Kao kompromisna dužina mobilne antene za kratke valove uzima se nešto više od četvrtine dužine vala za 28 MHz, najviše 3,2 do 3,3 m. Takav metalni, dovoljno elastičan štap učvršćuje se pomoću posebnog izolatora na stražnjem kraju, često na stražnjem odbojniku kola. Budući da je dužina antene za 28 MHz veća od četvrtine vala treba je napajati preko kapaciteta *C*. Za tu svrhu služi promjenljivi kondenzator maksimalnog kapaciteta 100 pF. Treba ga staviti (izolirano!) između srednjeg voda koaksijalnog kabela (50 Ω) i donjeg kraja antenskog štapa (sl. 20-16a). Oklop kabela spaja se direktno na lim karoserije, što bliže podnožju antene. Kondenzatorom *C* treba antenu ugoditi na resonanciju (kontrola mjeračem polja u blizini automobila) uz istovremenu kontrolu stojnih valova u kabeu. Za ovu svrhu treba SWR-

-metar uključiti u koaksijalni kabel (bliže predajniku) i nastojati da se uz maksimalnu emisiju antene postigne što niži odnos stojnih valova. Postignemo li SWR od 1:2 ili manji možemo biti zadovoljni.

Kao što smo za rad na 28 MHz morali antenu električki »skratiti« dodatkom kapaciteta, tako je za rad na nižim frekvencijama moramo »produžiti« dodatkom induktiviteta. Takav dodatak predstavlja zavojnica *L*. Ona se najčešće nalazi bliže sredini antenskog štapa (sl. 20-16b), rjeđe na njegovom podnožju.

Ako se zavojnica stavi bliže sredini antene postiže se nešto veća vrijednost otpora zračenja i bolje prilagođenje na 50-omski koaksijalni kabel; osim toga na ovome je mjestu zavojnica izložena manjim mehaničkim naprezanjima nego onda kad je bliže podnožju. Sam antenski štap mora biti razdijeljen u dva nejednaka dijela. Gornji obično ima dužinu oko 1,5 m; donji oko 1 m. Zavojnica mora biti načinjena tako da dobro izdrži mehaničko naprezanje kod savijanja antene za vrijeme vožnje. Podatke o zavojnici *L* sadrži tablica 20-3.

Tablica 20-3. Podaci o zavojnici koja se stavlja u mobilnu, vertikalnu antenu (prema sl. 20-16b)

Orseg (MHz)	Induktivitet (μH)	Broj zavoja	Debljina žice (mm)	Promjer zavojnice (cm)
3,5	125*)	67*)	1,22	3**)
7	33	31	2,0	
14	7,6	12	2,5	
21	1,9	4	2,8	

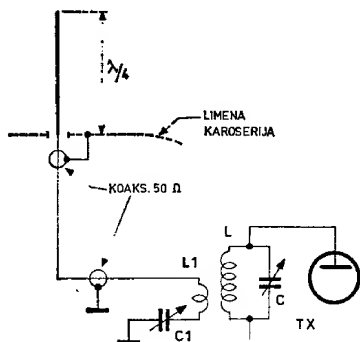
*) Induktivitet, odnosno broj zavoja mora se popraviti kod završnog ugađanja. Antena mora resonirati (zajedno sa zavojnicom) na radnu frekvenciju predajnika. Da se olakša dovođenje na resonanciju može se za gornji dio antene uzeti obična auto-antena kojoj se dužina mijenja uvlačenjem i razvlačenjem. Tako se antena može dovesti u rezonanciju (kontrola mjeračem polja).

**) Zavoj od zavoja neka bude razmaknut otprilike za debljinu žice. Ovime je onda određena i dužina zavojnice. Ako se dužina gornjeg dijela antene ne može mijenjati, dobro je namotati nešto više zavoja. Tada se induktivitet zavojnice bira mijenjajući odvojke na zavojima u njenom gornjem dijelu.

Otpor zračenja opisane vertikalne antene, u tački gdje se priključuje koaksijalni kabel, iznosi 20 do 30 Ω . Ako je karakteristična impedancija kabela 50 Ω , odnos stojnih valova (SWR) će otprilike biti 1:2. Nekima je uspjelo ovaj odnos poboljšati na taj način da su od antene do predajnika stavili *dva* koaksijalna kabela, spojena *paralelno*, tj. unutrašnji vod jednog kabela spojen je sa unutrašnjim vodom drugoga; vanjski oplet jednoga s vanjskim opletom drugog kabela. Tako se dobije karakteristična impedancija koja je upola manja, samo 25 Ω , pa je i prilagođenje na antenu bolje. Razumije se, toliko je smanjena i priključna vrijednost, impedancije kabela za izlaz predajnika koji treba ovome posebno prilagoditi (»Antenska kutija«!).

Mobilne UKV antene

Vertikalna »četvrtvalna« antena za ultrakratke valove (UKV) ima malu dužinu. Zato je često vidimo montiranu na krovu vozila (ambulantna kola hitne pomoći, vatrogasci, milicija i mnogi »mobilni« radio-amateri), sl. 20-17. Radi što boljeg prilagođenja na 50-omski koaksijalni kabel, stvarna dužina antenskog štapa je redovito nešto duža od četvrtine dužine vala, skoro

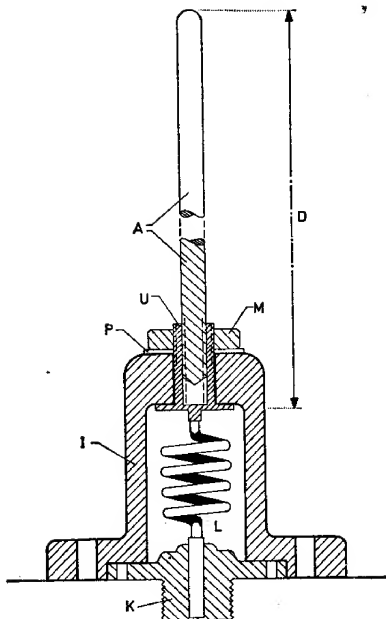


Sl. 20-17. Četvrtvalna antena za UKV na krovu automobila

5/16 λ . U svakom slučaju, ovisno o frekvenciji i o lokaciji antene na samom vozilu, antenski štap mora imati takvu dužinu da emitirani signal bude maksimalne jačine (mjerac polja!) uz najmanji mogući odnos stojnih valova u koaksijalnom kableu (SWR-metar!).

U početku je bilo pokušaja da se za vezu sa vozilom u pokretu upotrebe horizontalne antene različitih konstrukcija, kako bi se lakše održavale veze sa UKV stanicama koje su radile gotovo isključivo sa horizontalnom polarizacijom. To je u sadašnjoj situaciji sasvim napušteno, pa se za veze sa *mobilnim stanicama* primjenjuje samo *vertikalna polarizacija*. I one stacionarne stanice koje održavaju veze sa »mobilnim« danas imaju posebne antene s vertikalnom polarizacijom. I repetitori, koji pretežno služe za vezu sa mobilnim stanicama, imaju antene za vertikalnu polarizaciju.

Još popularnija od četvrtvalne je antena koja se naziva »5/8«. Amateri je vrlo rado upotrebljavaju jer joj je emisija signala usmjerena pod vrlo malim kutem, prema horizontu. Njena je dužina (D) bliža 3/4 λ . Sa donje strane ima dodatak u obliku male zavojnice, sl. 20-18. Zavojnica L omogućuje bolje prilagođenje na impedanciju koaksijalnog kabela. Ima ukupno 4 zavoja, namotana žicom 1,5 mm, CuL sa unutrašnjim promjerom 9,5 mm i vanjskim promjerom 12,5 mm. Duži na zavojnice je oko 16 mm. Dobro je malo eksperimentirati s dužinom zavojnice da se postigne potreban induktivitet kod gradnje takve antene. Također se treba malo »zabaviti« sa iskušavanjem najbolje dužine same antene. Ako smo »pogodili« i dužinu zavojnice i dužinu antene, ako je pravilno ugođena, postigli smo *istovremeno* minimalni odnos stojnih valova (SWR) i maksimalni otklon kazaljke na mjeracu polja. Za dvometarski opseg dužina »5/8 λ « antene će biti oko 120 cm. Najbolje je da bude izrađena iz čelične, nerđajuće šipke koja na svo-



Sl. 20-18. Skica koja prikazuje konstrukciju antene »5/8 λ «. To je, zapravo, antena dugačka 3/4 dužine vala kojoj je dodana zavojnica za prilagođavanje na koaksijalni kabel. Vidi tekst

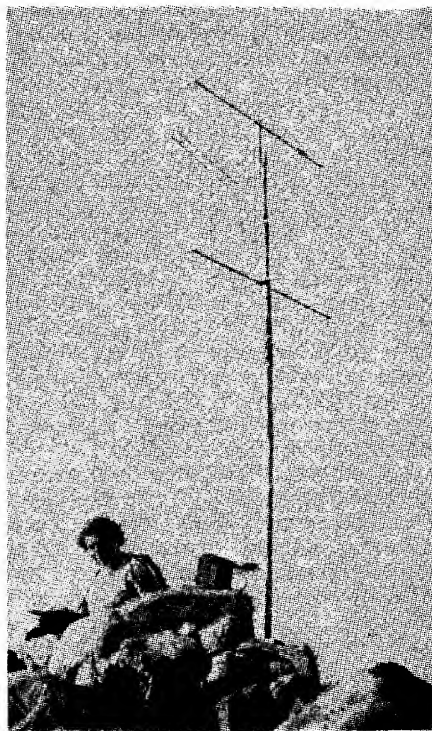
joj donjoj strani ima promjer od 3 mm i koja prema vrhu postaje pomalo tanja, sve do promjera od 1,5 mm. Na sam vrh neki stavljaju malu kuglicu da se ne bi netko ubo na antenu. Antenu priključujemo na koaksijalni kabel preko utičnice K.

UKV antene za prenosne radio-stanice

Već samim usponom na neki planinski vrh kao da od »majke prirode« dobijemo darovanih najmanje 10 dB. Za vrijeme amaterskih kontesta se »isplati« ponijeti veću antenu, sl. 20-19, i raditi makar s vrlo malom snagom. Sa planinskih vrhova i slab signal »lansiran« dobrom antenom, dopre mnogo dalje nego signal 100 puta jače stanice, smješ-

tene u nekoj dolini! Kad je bila snimljena ova fotografija (sl. 20-19), snaga minijaturnog »home made« primopredajnika bila je jedva nešto veća od 1/2 vata. Postignuti QRB bio je 450 km!

Problem prenosivosti antene bio je rešen tako da se čitava antena mogla rastaviti u komade od kojih nijedan nije bio duži od 60 cm! Svi su dijelovi antene bili smješteni u torbu sa remenom za lako nošenje preko ramena. Da se takva antena



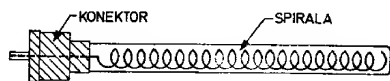
Sl. 20-19. Vrlo mala snaga prenosnog primopredajnika je, uz »veliku« antenu, dovoljna za održavanje dalekih veza. Antena se može sagrađiti tako da ju je lako rastaviti u komade koji nisu duži od 60 cm. Ona je i antena lako prenosiva, čak na planinske vrhove. Ovo je snimljeno na Velebitu, na vrhu Vučjak, 1645 metara nad morem

sagradi potrebno je izrađivati dije-love na tokarskom stroju. Zato ne-ćemo antenu detaljnije opisivati. Uz malo spretnosti može takvu antenu načiniti svaki radio-amater, ako sa-mo zna kako se tokari aluminij.

Amaterska dosjetljivost riješit će problem rastavljanja i sastavlja-nja antene koja je, po njegovom mi-šljenju pogodna za to, a opisana je negdje među antenama u 19. poglav-lju (ili negdje drugdje).

Mali, prenosni uređaji, koji obi-čno služe za međusobne veze frek-ventnom modulacijom na manje u-daljenosti ili za veze preko najbližeg repetitora, mogu na sebi imati $\lambda/4$ antenu. Ona se može razvući i, kad je više ne trebamo, skratiti i, često, uvući u samu kutiju primopredaj-nika. Na sl. 20-1 je na primopredaj-niku vrlo kratka i odebela antena. Kod takvih antena je *spiralno namo-tana čelična opruga* stavljena u gu-mu ili neki sličan elastični materij-al. Dužina antene je skraćena, ali ona ipak *resonira slično četvrtval-noj anteni*. U praktičnoj upotrebi ona jedva zaostaje za četvrtvalnom. Neki govore da je razlika otprilike za -1 dB. Za neki DX nije, ali ipak vrlo dobro može poslužiti za »svaki-dašnju upotrebu«, sl. 20-20.

Popularna HB9CV antena nacrtana je na sl. 20-21. Kod nje su i dipol i reflektor napajani iz istog koak-sijalnog kabela preko dvostrukog gama-prilagođenja. Ako se za grad-nju antene »HB9CV« upotrebe alu-minijske ili bakrene cijevi promje-ra 6 mm, vrijede dimenzije koje su označene na slici. Oba elementa su u svojoj tačnoj sredini učvršćena na srednju prečku S, promjera 12 mm i dužine 25 cm. Ovu prečku



Sl. 20-20. Kratka, resonirajuća spi-rala u elastičnoj zaštitnoj navlaci može vrlo dobro zamijeniti četvrt-valnu antenu. Vidi tekst

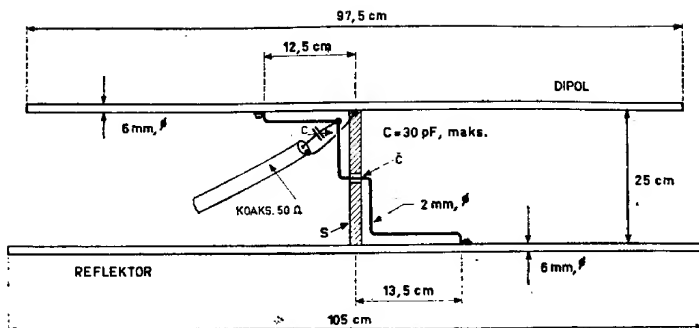
treba učvrstiti na antenski »stup«, tačnije na poduži metalni ili drveni štap, tako da se čitava antena lako okreće u svaki smjer. Pri tome su antenski elementi horizontalni i oba u istoj visini od zemlje.

Čep C, kroz koji prolazi 2 mm debela žica za gama-prilagođenje, neka bude načinjen od polistirola ili od pleksiglasa. Promjer neka mu bude oko 6 mm.

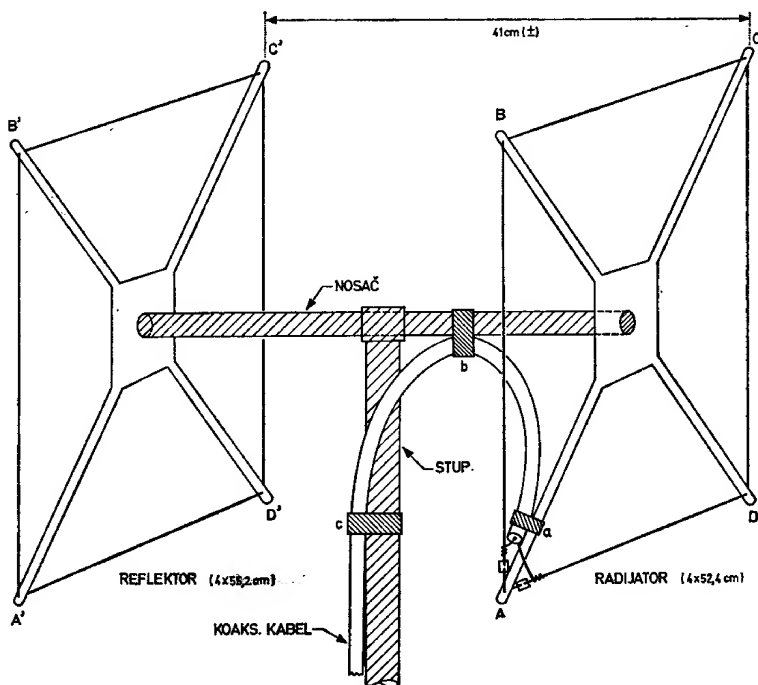
Kondenzatorom C maksimalnog kapaciteta 30 pF (najbolje mali »Philipsov« trimer kakav proizvodi »Ei — Niš«) može se postići gotovo idealno prilagođenje antene na 50-omski kabel. Uz označene dimen-zije antenskih elemenata lako se postiže SWR od 1:1 na frekvenci-jama unutar opsega od 144 MHz. S takvom antenom, smještenom u so-bi u petom katu zgrade, sa tranzis-torskim primo-predajnikom kojemu je INPUT oko 300 mW, uspjelo je održavati redovite dvometarske veze do daljine od 30 km. Sa istom ante-nom i istim primo-predajnikom YU2BR je prilikom jednog kontesta dosega QRB od skoro 250 km ra-deći sa vrha nevisokog brežuljka. Ovakvi uspjesi bili su povod za sve češću primjenu ove antene koju smo prvi puta iskušali na poticaj iz ino-zemstva (TNX OE8GWK).

Dobitak antene HB9CV iznosi oko 5 dB. Odnos napred-natrag nije velik, ali se može jasno opaziti, jer je i prijem »straga« slabiji nego ako antenu okrenemo u smjeru iz kojega dolazi signal. U bočnim smje-rovima, lijevo i desno, postoje *du-boki minimumi prijema* (i emisije, dakako) pa je tu antenu moguće s velikim uspjehom upotrebljavati za određivanje smjera prigodom a-materskih takmičenja u *radio-gonio-metriji* (u »lovu na lisicu«).

Vrlo dobri rezultati postižu se i *dvometarskom kvad-antenom*, sl. 20-22. Dimenzije se mogu odrediti kao i kod kratkovalne »Cubical Quad« antene. Radijator se sastoji od žice koja je napeta u obliku pravilnog kvadrata kojemu je stranica dugačka 52,4 cm za frekvenciju 145



Sl. 20-21. Popularna »HB9CV« je dvoelementna usmjerena antenna koja može poslužiti kao prenosna antenna za UKV, ali također i za određivanje smjera kod amaterske radio-goniometrije (ARG; »lov na lisicu«). Antenski dobitak je oko 5dB



Sl. 20-22. »Cubical quad« za 144 MHz. Kvad-antena se najčešće upotrebljava na kratkim valovima, ali nema razloga da je ne upotrebimo kao prenosnu antenu za 144 MHz. Uz trećinu svih dimenzija ona vrlo dobro radi i na 70-centimetarskom valu

MHz. U jednom vrhu kvadrata (kod A) žica je prekinuta i ovdje se antena spaja s koaksijalnim kablom (50 Ω). Reflektor mora, za istu frekvenciju, biti nešto veći. Njegova stranica je dugačka 55,2 cm. Taj je kvadrat zatvoren.

Od centra kvadrata do rupice u prečki koja drži antensku žicu mora biti $0,707 \times 52,4 = 37$ cm (za radijator). To znači da svaka od ukrštenih prečki koje nose radijator mora biti dugačka 2×37 cm, uz dodatak od 1 cm sa svake strane, što daje: 76 cm (od A do C i od B do D). Na isti način možemo izračunati da su za držanje reflektorske žice potrebne ukrštene prečke koje imaju dužinu: $A'C' = B'D' = 80$ cm, sa rupicama za provlačenje žice 1 cm od kraja.

Razmak između radijatora i reflektora bit će oko 41 cm, ali ga je najbolje odrediti pomoću SWR-metra. Mijenjajući pomalo taj razmak postići ćemo da SWR bude minimalan.

Mehaničko rješenje nije teško pronaći pa to prepuštamo konstruktorima. Antenski dodatak jednak je onome koji se takvim kvad-antennama postiže i na kratkovalnim opsezima. On iznosi 5,6 dB, praktički čitavu S-jedinicu iznad dipola. Za uvjete rada »u portablu« je zanimljivije uporediti kvad sa drugim antenama koje se inače upotrebljavaju, u istim uvjetima. Tu je onda za takav kvad dobitak oko 6,5 dB iznad antene »5/8 λ « ili čak oko 8,5 dB iznad četvrtvalne antene! I od HB9CV je kvad »bolji« za 0,6 dB.

Okvako, kako je nacrtano na sl. 20-22, polarizacija je pod kutem od 45°. Tako se može raditi sa svima, i s onima koji rade sa horizontalnom i s onima koji rade sa vertikalnom polarizacijom. U kritičnijim situacijama, kada se želi postići sigurnija veza u većoj udaljenosti, bit će potrebno odabrati ili jednu ili drugu ravninu polarizacije. Ako je vrh kvadrata (A) dolje ili gore bit će polarizacija horizontalna. Ako kvadrat okrenemo tako da je vrh u

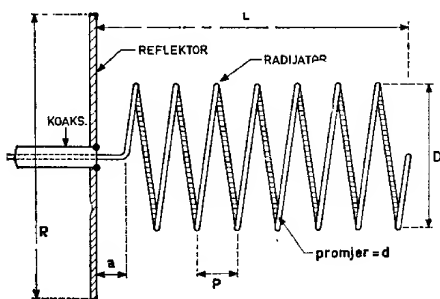
kojemu je priključen koaksijalni kabl bočno (lijevo ili desno) polarizacija je vertikalna.

Najbolje je da stup, nosači i prečke koje drže žicu, budu načinjeni od plastike ili suhog drveta. To smanjuje i težinu antene i ne smeta njenom radu.

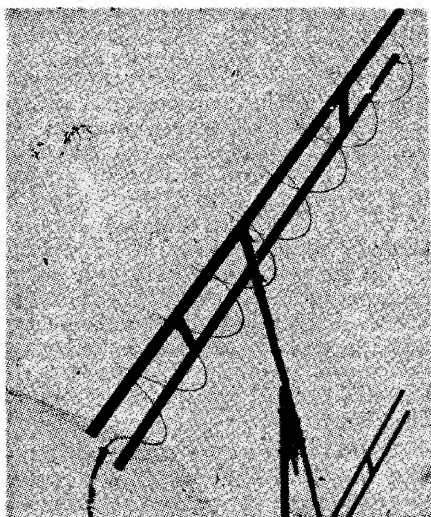
Smanjimo li sve dimenzije kvada tri puta, dobit ćemo vrlo dobru prenosnu antenu za 70-centimetarski opseg!

Za frekvencije amaterskih opsega od 432 ili 1296 MHz veoma su zanimljive i *helikoidne antene*, sl. 20-23. Dimenzije su im takve da mogu biti prenosne. Helikoidna antena ima radijator u obliku »heliksa«, tj. spirale. Ako je opseg spirale približno jednak dužini vala, emitirani valovi odlaze u smjeru njene osi. Pri tome su valovi cirkularno polarizirani. Smjer polarizacije ovisi o smjeru kojim se namataju zavoji spirale. Prema tome razlikujemo cirkularnu desnu (u smjeru kazaljki na satu) i lijevu (obrnuto od kazaljki na satu) polarizaciju vala.

Ako se visokofrekventno polje u smjeru maksimalne radijacije ispituje dipolom, u njemu se inducira struja koja se ne mijenja, ako dipol vrtimo za svih 360°, što je svojstvo upravo cirkularno polarizaciji. U kosim smjerovima od helicoidne antene valovi su eliptički polarizirani, što znači da njihova vertikalna i horizontalna komponenta nisu jednake.



Sl. 20-23. Helikoidna antena za ultrakratke valove. Dimenzije za 432 i 1296 MHz su na tablici 20-4



Sl. 20-24. Izgled helikoidne antene

Cirkularno polarizirane valove najbolje prima druga helikoidna antena, ako su njeni zavoji motani jednako kao kod emisione antene.

Imaju li zavoji prijemne, antene obrnut smjer, primljeni signal je mnogo slabiji.

Svojstva helikoidne antene određena su promjerom spirale D , kao i njenim »korakom« (tj. razmakom od zavoja do zavoja) P . Antenski dobitak je veći ako spirala ima više zavoja. Promjer reflektora R mora biti najmanje jednak polovici dužine vala ili nešto veći. Izgled helikoidne antene vidimo na sl. 20-24. Reflektor je načinjen od metalne mrežice.

Tablica 20-4 daje najpotrebnije podatke za gradnju i upotrebu takvih antena. Napominjeno da navedene vrijednosti antenskog dobitka snage vrijede samo onda, ako za prijem, služi jednaka helikoidna antena. Kod prijema sa antenama koje su određene za prijem horizontalno ili vertikalno polariziranih valova, kao što je dipol, cirkularno polarizirani signal prima se s gubitkom od 3 dB.

Koaksijalni kabel, koji služi za napajanje helikoidne antene, mora

Tablica 20-4. Podaci o helikoidnim antenama (sl. 20-23)

A) Dimenzije:

Za opseg	D	R	P	a	d
432 MHz	22,2 cm	56 cm	15,2 cm	7,6 cm	6 mm
1296 MHz	7,6 cm	17,8 cm	5,1 cm	2,9 cm	3 mm

B) Svojstva:

Broj zavoja	6	8	10	12	20
Dobitak snage	12 dB	14 dB	15 dB	16 dB	17 dB
Širina snopa zračenja	47°	41°	36°	31°	24°
Opseg radnih frekvencija $\pm 25\%$					

biti svojim unutrašnjim vodom spojen sa početkom spirale, a svojim oklopnim pletivom na reflektorsku ploču.

Otpor zračenja R helikoidne antene može se izračunati ovako:

$$R(\Omega) = 140 \frac{\text{opseg spirale}}{\text{dužina vala } (\lambda)}$$

Opseg spirale i dužina vala mora se u račun staviti izražene istim mjernim jedinicama, npr. u centimetrima. Ako je promjer spirale D približno jednak trećini dužine vala, njen opseg će odgovarati cijeloj dužini vala. Iz gornje formule onda izlazi za otpor zračenja vrijednost 140Ω . Za prilagođenje na koaksijalni kabel karakteristične impedancije 50Ω mora se dodati pogodni četvrtvalni transformator, npr. načinjen od nekog 75-omskog kabela. Bolje bi bilo upotrebiti četvrtvalni komad koaksijalnog kabela impedancije oko 84Ω , ali takvog je teško naći.

POJAVE SMETNJA U »RADIOFICIRANOM« AUTOMOBILU

Motorna vozila proizvode različite električne smetnje. Najjače su smetnje koje nastaju od *iskara* na svjećicama benzinskih motora. Protiv ove vrste smetnja treba se boriti na dva načina. Prvi je način u provedbi što boljeg »blokiranja« motora. Drugi način je u primjeni različitih metoda uklanjanja impulsnih smetnji u samom prijemniku. Princip prvog načina je opisan u poglavlju o uklanjanju električnih smetnja. Najbolje je da se blokiranje benzinskog motora protiv visokofrekventnih smetnja načini prema podacima koje za svako vozilo daje njegova tvornica. Načini uklanjanja impulsnih smetnja u prijemnicima opisani su u poglavlju »Prijemnici«. Na ovu vrstu smetnja najmanje su osjetljivi prijemnici za frekventno modulirane signale

zbog ugrađenog ograničivača amplitude!

Smetnje, koje se čuju kao *zuja-nje*, koje potječe od iskrenja na *kolektoru* automobilskog dinama, redovito se javlja kada se kolektor zaprlja ugljenom prašinom od kefica (četkica). Zato treba povremeno očistiti kolektor dinama, osobito raspore među bakrenim lamelama. U tim se rasporima nakuplja ugljena prašina i lako može doći do iskrenja između samih lamela na kolektoru, kao i između kolektora i kefica. Za uklanjanje ovog zujanja također postoji specijalan pribor za blokiranje.

Ostali izvori smetnja u automobilu mogu biti na sistemima pokazivača temperature, pokazivača količine goriva, zatim na električnim motorima u sistemu grijanja i ventilacije, te na motorima za pokretanje brisača stakla. Sve ovo treba, u slučaju potrebe, blokirati prema savjetu fabričkog servisa.

Posebna vrsta »šuštavih« električnih smetnja čuje se u radio-prijemnicima za vrijeme vožnje po asfaltnoj cesti za toplog i suhog vremena. Ovo dolazi od elektrostat-
skih naboja koji nastaju prilikom trenja između guma i ceste. Uslijed toga se čitava kola toliko elektriziraju da iz njih mogu skakati kratke električne iskre. Protiv ove pojave, koja se ne može opaziti kod magle ili kiše, pomaže poseban »antistatički« prašak za gume i uz to komad pletene metalne trake (može se skinuti sa starih koaksijalnih kabela!) koji se jednim krajem ispod kola spaja sa šasijom ili karoserijom, a drugim svojim krajem vuče po zemlji, odvođeći elektrostatske naboje. Takvo »uzemljenje« je propisano za sve kamione-cisterne koji služe za prevoz benzina i ostalih lako upaljivih tekućina. Kod njih za tu svrhu služi lanac koji se mora vući po zemlji. Iskrica od statičkog elektriciteta mogla bi kod njih lako izazvati požar.

Neposredno pred oluju mogu se u automobilskom prijemniku čuti i posebne smetnje koje nastaju zbog pojave tzv. *korone* na vrhu antene. Ovo se očituje kratkotrajnim šumovima koji zvuče visoko, slično vrištanju. U početku oni slijede u razmacima koji mogu trajati i koju minutu, ali kasnije — sa približavanjem oluje — postaju sve češći, ovisno o tome kako brzo se antena ponovno nabija atmosferskim elektricitetom. Prema tome, takva smetnja nema svoj uzrok u automobilu.

Ona prestaje čim se udaljimo iz olujnog područja.

Ne zaboravimo da je radio-antena koja strši iznad vozila pravi »mamac« za eventualni udarac munje. Zato je dobro da se za vrijeme oluje, dok se nalazimo u takvom području, antena skine i stavi u *unutrašnjost automobila*. Također nije dobro stajati pokraj automobila za vrijeme oluje i grmljavine, osobito ako smo negdje u ravnom i nenastanjenom kraju. U parkiranoj autu smo u takvoj situaciji najsigurniji.

MJERNI INSTRUMENTI I MJERENJA

MJERENJE STRUJE, NAPONA I OTPORA

Princip ampermetra i voltmetra

Za mjerenje *jakosti struje* služe ampermetri, miliampermetri i mikroampermetri. Naziv ovisi samo o mjernom području. Takvi mjerni instrumenti grade se obično za maksimalni otklon kazaljke kod 50 μA , 100 μA , 500 μA , 1 mA, 5 mA i 10 mA. Za jače struje treba dodati *paralelni* otpor (R_p , sl. 21-1a). Ovaj se već u samoj tvornici ugrađuje u kućište instrumenta ili ga treba dodati izvana.

Vrijednost paralelnog otpora za mjerenje jačih struja izračunava se ovako:

$$R_p = \frac{R_m}{n-1}$$

Ovdje R_m označuje vlastiti otpor samog instrumenta, dok je slovom n označen faktor kojim treba pomnožiti vrijednost na skali. Ako, npr. miliampermetrom sa unutrašnjim otporom od 10 Ω , koji je gra-

đen za maksimalnu struju od 1 mA, želimo mjeriti jakost struje do 100 mA, treba:

$$R_p = \frac{10}{100-1} = \frac{10}{99} = 0,101 \Omega$$

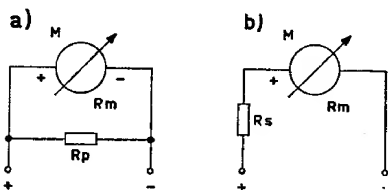
Ako takav miliampermetar želimo upotrebiti u strujnim krugovima sa velikim naponom (npr. u anodnim strujnim krugovima snažnijih davača), moramo paziti da ne dobijemo električni udarac pri doticanju vijka za korekciju nule. Ako je napon, vrlo velik, veći od onoga koji tvornica navodi za određeni tip instrumenta, ne smijemo ga montirati na metalnu prednju ploču ili na šasiju, da ne dođe do unutrašnjih proboja. Tada je najbolje da instrument montiramo na posebnu izoliranu pločicu tako da se skala može očitavati kroz poseban otvor, prekriven staklom ili prozirnom plastikom, npr. pleksiglasom.

Isti merni instrument može poslužiti i za mjerenje *napona*, kao voltmetar. Tada je potrebno dodati *serijski* otpornik (R_s , sl. 21-1b). On je često ugrađen u kućište instrumenta kojemu je skala odmah ispisana u vrijednostima napona, ali ga možemo i sami dodati. Za manje vrijednosti napona možemo R_s izračunati pomoću formule:

$$R_s = R_m \left(\frac{U}{U_m} - 1 \right),$$

gdje je R_m otpor voltmetra, U_m napon na njegovim priključcima za puni otklon kazaljke, a U maksimalni napon novog opsega.

Za vrijednosti napona, koje su znatno više od U_m smijemo tu vri-



Sl. 21-1. Princip upotrebe električnih mjernih instrumenata: a) za mjerenje jakosti struje; b) za mjerenje napona

jednost zanemariti i R_s , izračunati iz Ohmovog zakona:

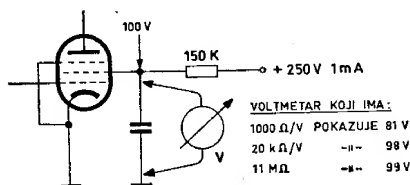
$$R_s = \frac{U}{J}$$

Jakošć struje J je ona koja je potrebna za puni otklon skale instrumenta. Uzmimo npr. miliampermetar za maksimalno 5 mA. Želimo ga upotrebiti za mjerenje napona do 100 V. Prema gornjem će biti:

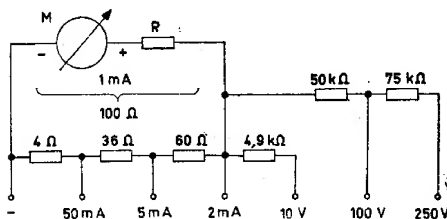
$$R_s = \frac{U \text{ (volta)}}{J \text{ (ampera)}} = \frac{100}{0,005} = 20\,000\ \Omega$$

U ovom primjeru na svaki volt napona otpada po 200 Ω otpora. Ovo može biti dovoljno, ako takvim voltmetrom mjerimo, npr. napon neke galvanske baterije. Za druge svrhe će biti bolje da voltmetar ima manji vlastiti potrošak struje i veći otpor za jedinicu napona. Ima li voltmetar više Ω/V , kažemo da mu je osjetljivost veća.

Utjecaj osjetljivosti voltmetra na tačnost mjerenja napona jasnije se vidi iz prikaza na sl. 21-2. Ako se napon od 100 V za neku zaštit-



Sl. 21-2. Voltmetri koji imaju različite osjetljivosti pokazuju različite vrijednosti napona



Sl. 21-3. Shema »Multimetra«, mjernog instrumenta za samogradnju pomoću miliampermetra sa skalom do 1 mA

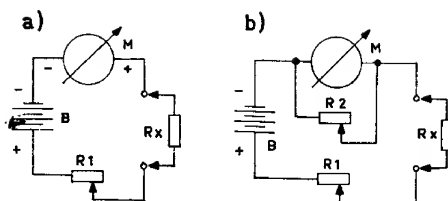
nu mrežicu postiže serijskim otpornikom od 150 k Ω koji je spojen na 250 V, pad napona od 150 V nastat će uz jakost struje od 1 mA. Pri mjerenju napona ovome se dodaje struja koju troši sam voltmetar, pad napona na 150 k Ω zbog toga postaje veći. Za vrijeme mjerenja napon zaštitne mrežice postaje dakle manji; voltmetar uvijek pokazuje malo manje. Razlika je to veća što je osjetljivost voltmetra manja!

U trgovinama ima različitih mjernih instrumenata, uvoznih i domaćih (»Iskra-Kranj«), koji imaju više različitih mjernih područja za napone i za jakosti struja. Kod kupnje takvog instrumenta je bolje uzeti onaj koji ima veću osjetljivost, npr. 10 ili 20 k Ω/V , jer takav bolje odgovara za različita radiotehnička mjerenja nego instrumenti kojima je osjetljivost manja. Istini za volju treba ipak reći da najprecizniji voltmetri redovito imaju razmjerno malu osjetljivost, malo Ω/V .

Ima radio-amatera koji vole sve sami načiniti. Za njih, na sl. 21-3, donosimo shemu mjernog instrumenta koji ima više mjernih područja za struje i napone. Jedino je potrebno nabaviti miliampermetar od 1 mA, sa unutrašnjim otporom R_m koji je manji od 100 Ω . Otpornik R treba odabrati tako da $R_m + R$ bude tačno 100 Ω , dok ostali otpornici moraju imati označene vrijednosti. Osjetljivost ovog »multimetra« za mjerenje napona iznosi 500 Ω/V , što može odgovarati skromnijim zahtjevima.

Mjerenje otpora

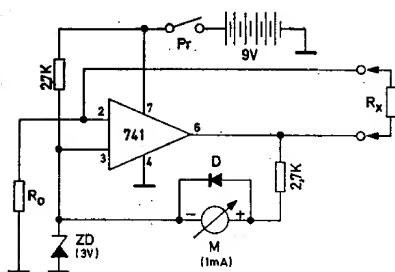
Dvije vrste jednostavnijih om-metara za mjerenje otpora nacrtane su na sl. 21-4. Svaki od ovih instrumenata ima bateriju B koja je spojena u seriju sa miliampermetrom M , zatim promjenljivi otpornik R_1 i priključnice za nepoznati otpor R_x . Prije mjerenja tre-



Sl. 21-4. Mjerenje otpora om-metrom. U primjeru b) promjenljivim otpornikom R_2 može se pokazivanje instrumenta popraviti kada oslabi baterija: u oba primjera pomoću R_1 može se postići da kazaljka instrumenta pokazuje nulu na kraju skale, kad se priključnice za R_2 kratko spoje

ba ove priključnice kratko spojiti i otpornikom R_1 naravnati skalu instrumenta na maksimalni otklon. Na skali je na tom mjestu kod om-metara napisana vrijednost »nula«. Ako se sada uključi nepoznati otpor R_x kroz instrument teče slabija struja a na skali se može pročitati vrijednost otpora u omima (Ω) ili u kilo-omima ($k\Omega$).

Pomoću otpornika R_2 može se popraviti pokazivanje instrumenta kad oslabi ugrađena baterija B. Toga u om-metrima najčešće nema, jer se u praksi redovito može



Sl. 21-5. Shema om-metra sa operacijskim pojačalom. Vrijednosti nepoznatog otpora R_x čita se na instrumentu M. On ima linearnu skalu. Otpornik R_0 je »normala« (»etalon«) koja određuje mjerni opseg. Vidi tekst

mo zadovoljiti i manje preciznom informacijom o veličini nekog otpora. Rijetko će biti potrebna veća tačnost mjerenja od 5%.

Ako neki otpor moramo tačnije odrediti, možemo izmjeriti pad napona U koji na otporu nastaje uz jakost struje I i onda izračunati: $R=U/I$.

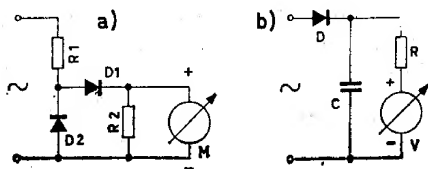
Mjerenje otpora sa direktnim čitanjem vrijednosti na linearnoj skali omogućuje om-metar sa integriranim sklopom IL 741, prema sl. 21-5. Opseg mjerenja ovisi o R_0 . To je otpor koji ima »okruglu« vrijednost (100, 1000 itd.) i koji služi kao »normala«. Zato njegova vrijednost mora biti što preciznija (npr. $\pm 2\%$). Vrijednost otpornika R_x čita se na linearnoj skali. Shema je vrlo pogodna za eksperimen-tiranje.

Voltmetri za izmjenične napone

Kod izmjeničnih napona nas redovito interesira njihova efektivna vrijednost. Ovu vrijednost direktno pokazuju samo različite vrste toplinskih mjernih instrumenata, ali se i drugim vrstama instrumenata, od kojih spominjemo samo one sa pomičnim željezom, mogu ove vrijednosti mjeriti uz uvjet da su naponi sinusoidalni.

Najrašireniji su instrumenti sa ugrađenim ispravljačima. Na njihovoj skali također se čitaju efektivne vrijednosti sinusoidalnih napona. Ako napon nije sinusoidalan, skala ne vrijedi!

Dioda D_1 u mnogim voltmetrima za izmjenične napone (sl. 21-6a) je specijalni ispravljač sa bakrenim oksidulom, ali bi mogle poslužiti i germanijeve kristalne diode. Takve diode nisu »savršene«, što znači da one malo struje propuštaju i u zapornom smjeru. Osim toga one ne izdrže velik zaporni napon. Zato treba dodati diodu D_2 . Ona izmjeničnoj struji osigurava prolaz u onoj poluperiodi u kojoj D_1 ne propušta.



Sl. 21-6. Instrumenti za mjerenje izmjeničnih napona: a) voltmetar koji se može baždariti tako da pokazuje efektivnu vrijednost sinusoidalnog izmjeničnog napona; b) voltmetar za vršnu vrijednost izmjeničnog napona

Otpornik R_2 koji je spojen paralelno s mjernim instrumentom M potreban je za poboljšanje linearosti skale. Otpor diode D_1 je manji kod jačih struja, zbog čega bi skala voltmetra bila na svom početku »zbijena«. Dodatkom otpornika R_2 povećava se jakost struje i kod manjih napona pa skala izlazi nešto jednoličnija.

Primjenom poluvalnog ispravljanja postiže se da kroz instrument M teče jakost struje koja odgovara 45% efektivne vrijednosti sinusoidalnog napona. Zbog toga ovakvi voltmetri imaju razmjerno niži otpor, ako ih uporedimo sa voltmetrima za istosmjerne napone. Ima li instrument M maksimalni otklon kazaljke kod 200 mikroampera, voltmetar za izmjenične napone će imati, npr., 1000 oma za svaki volt. Sa istim instrumentom bi voltmetar za istosmjerne napone imao 5000 Ω/V .

Mjerni instrument M pokazuje srednju vrijednost ispravljene struje. Skala je to manje tačna, što izmjenični napon više odstupa od sinusoide. Stariji voltmetri sa ispravljačima mogli su poslužiti za mjerenje izmjeničnih napona do 1000 ili 2000 Hz. Današnji voltmetri takvog tipa služe podjednako dobro za mjerenje u cijelom audio-frekventnom području.

Na sl. 21-6b dioda D je ispravljač kroz koji se kondenzator C nabije na maksimalnu (vršnu) vri-

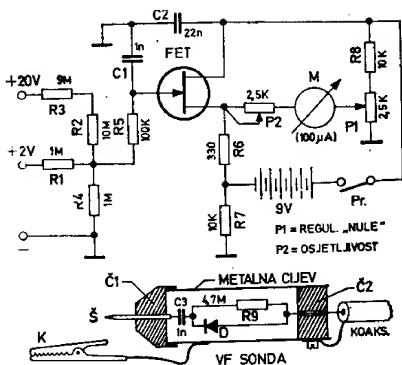
jednost izmjeničnog napona. Napon na kondenzatoru mjeri se voltmetrom V koji mora imati što veći vlastiti otpor R . Dioda mora u zapornom smjeru izdržati dvostruku vršnu vrijednost napona koji mjerimo. Veličina kondenzatora C ovisi o frekvenciji i o otporu R . Za voltetre koji imaju 10 do 20 k Ω dovoljan je, za frekvenciju tehničke izmjenične struje, kapacitet kondenzatora C od 1 do najviše 2 μF . Razumije se da i kondenzator mora biti predviđen za napone koje želimo mjeriti. Tada voltmetar V direktno pokazuje vršnu vrijednost mjerenog napona.

Elektronički voltmetar

Voltmetar sa elektronskom cijevi, tzv. cijevni voltmetar, imao je, kao glavnu prednost pred drugim voltmetrima, svoj *izvanredno veliki otpor*. Najveća mu je mana bila da je morao imati svoj ispravljač. Mnoga svojstva elektronske cijevi (triode) ima i savremeni tranzistor, FET. Voltmetar sa FET-om također ima vrlo velik ulazni otpor pa ni on ne opterećuje strujne krugove za vrijeme mjerenja. Za svoj pogon zadovoljava se ugrađenom suhom baterijom pa je tako mnogo pokretljiviji i neovisan o struji iz električne mreže.

Nezgodna strana svih elektroničkih voltmetara je u tome da su osjetljivi na električna visokofrekventna polja, što može biti nezgodno ako mjerimo napone u blizini uključenog predajnika. To se, međutim, može izbjeći konstruktivnim mjerama, kao i ugradnjom u limenu kutiju.

Jedan pol instrumenta mora biti »uzemljen«, što može biti nedostatak u nekim slučajevima, osobito onda ako moramo mjeriti napone kojima su oba kraja »vruća« prema zemlji. Ipak, velik otpor elektroničkog voltmetra je tolika prednost da svaki tehničar i radio-amater rado uzima u obzir nave-



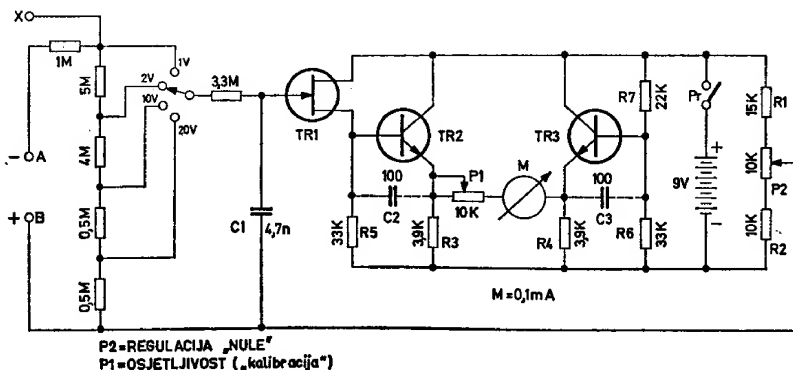
Sl. 21-7. Shema elektroničkog voltmetra sa FET-om za opsege do 2 i do 20 V. Ispod sheme je skica za izradu VF sonde. Vidi tekst

dene nedostatke koji se u većini slučajeva ne zapažaju.

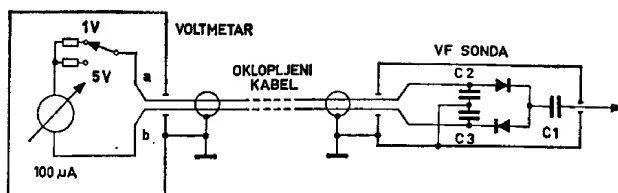
Elektronički voltmetar može biti načinjen na mnogo različitih načina. Ima ih uglavnom dvije vrste: sa »analognim« pokazivanjem napona (veći napon daje veći otklon na instrumentu sa kazaljkom) i sa »digitalnim« pokazivanjem (vrijednost napona se čita u brojkama). Prva vrsta je jednostavnija i pristupačnija širem krugu konstruktora. I tačnost mjerenja je obično sasvim zadovoljavajuća. Zato ćemo dati dvije takve sheme, pogodno za samogradnju.

Imamo li na raspolaganju bilo kakav FET možemo ga na jednostavan način iskoristiti za mjerenje napona, prema sl. 21-7. Na shemi je nacrtan simbol za JFET, ali se na isti način može upotrebiti i MOSFET. Ukoliko ovaj ima dvije gejt-elektrode, treba ih samo spojiti zajedno i upotrebiti kao jednu. Razlike u funkciji neće biti. Predviđena su samo dva mjerna opsega: do 2 i do 20 V. To će biti dovoljno za najveći broj mjerenja na tranzistorским uređajima. Potencijometrom P_1 treba mjerni instrument M dovesti na nulu, dok se potencijometrom P_2 može postići da instrument kod napona od 2 V, odnosno od 20 V, pokaže maksimalni otklon. Ispod sheme je skica za izradu visokofrekventne mjerne sonde. Ona, uz ostalo, sadrži germanijevu diodu D koja ispravlja i iz VF sonde odlazi (kroz koaksijalni kabel) napon na elektronički voltmetar. Njegov instrument M pokazat će otklon koji je proporcionalan sa veličinom VF napona koji želimo izmjeriti.

Ako osim FET-a upotrebimo još dva bipolarna tranzistora, prema sl. 21-8, možemo sagraditi bolji elektronički voltmetar. Tranzistor TR_1 , kao i u prijašnjem primjeru, osigurava vrlo velik ulazni otpor. Oba tranzistora, TR_2 i TR_3 , su u



Sl. 21-8. Elektronički voltmetar s tri tranzistora za mjerne opsege do 1, do 2, do 10 i do 20 V. Opis u tekstu



Sl. 21-9. Visokofrekventna sonda za ispitivanje i ugađanje

elektroničkom mostu pa mjerni instrument M otklonom svoje kazaljke pokazuje razliku potencijala između jednog i drugog emitera. Potencijetrom P_1 regulira se osjetljivost instrumenta tako da maksimalni otklon bude kod maksimalne vrijednosti napona, prema vrijednostima koje su napisane uz preklopnik za odabiranje mjernog opsega. Predviđeno je mjerenje napona do 1, 2, 10 i do 20 V. »Preciznost« mjerenja ovisi o tome koliko su tačne vrijednosti otpornika u ulaznom djelitelju napona. On je načinjen tako da ulazni otpor za bilo koji mjerni opseg bude stalno 11 MΩ.

Potencijetrom P_2 omogućuje popravljivanje »nule« instrumenta kad nema ulaznog napona. Kondenzatori C_1 , C_2 i C_3 ugrađuju se zato da ovaj tranzistorski voltmetar ne bi bio osjetljiv na visokofrekventna električna polja u blizini. Ugrađena suha baterija od 9 V uključuje se samo za vrijeme mjerenja. Kod »X« se može priključiti mjerna sonda za visokofrekventne napone, kao ona na sl. 21-7.

Sonda za VF ispitivanja

Za radio-amatere koji nemaju elektroničkog voltmetra veoma je korisna mala mjerna sonda koju mogu i sami načiniti, prema sl. 21-9. Ona je osobito pogodna za ugađanje različitih visokofrekventnih krugova u tranzistorskim uređajima.

Dvije germanijeve ili silicijeve visokofrekventne diode i tri kondenzatora su u ispravljačkom sklopu koji se dovodi (preko C_1 i šiljatog kontakta) u vezu s tačkom na kojoj želimo ispitati veličinu VF napona. Istosmjerni napon koji nastaje na kondenzatorima C_2 i C_3 vodimo oklopljenim kabelom na voltmetar kojemu je osjetljivost oko 10 kΩ/V. Za ispitivanje tranzistorskih uređaja trebamo dva ili tri mjerna područja, za 1 i 5 V, te možda još za 15 ili 20 V. Umjesto voltmetra možemo upotrebiti mikroampermetar do 100 μA i dodati serijske otpornike, 10 kΩ za 1 V, 50 kΩ za 5 V i ako je potrebno, npr. 200 kΩ za 20 V.

Izgled takve sonde vidimo na sl. 21-10. $C_1 = 15$ pF, $C_2 = C_3 = 2$ do 5 nF.



Sl. 21-10. Izgled visokofrekventne sonde. Svi dijelovi su ugrađeni u limeni oklop za minijaturene cijevi. Oklop je nataknut na keramičko podnožje kojemu su skinute priključnice. U sredinu je stavljen šiljak

ISPITIVANJE CIJEVI, DIODA I TRANZISTORA

Jednostavan ispitivač elektronskih cijevi

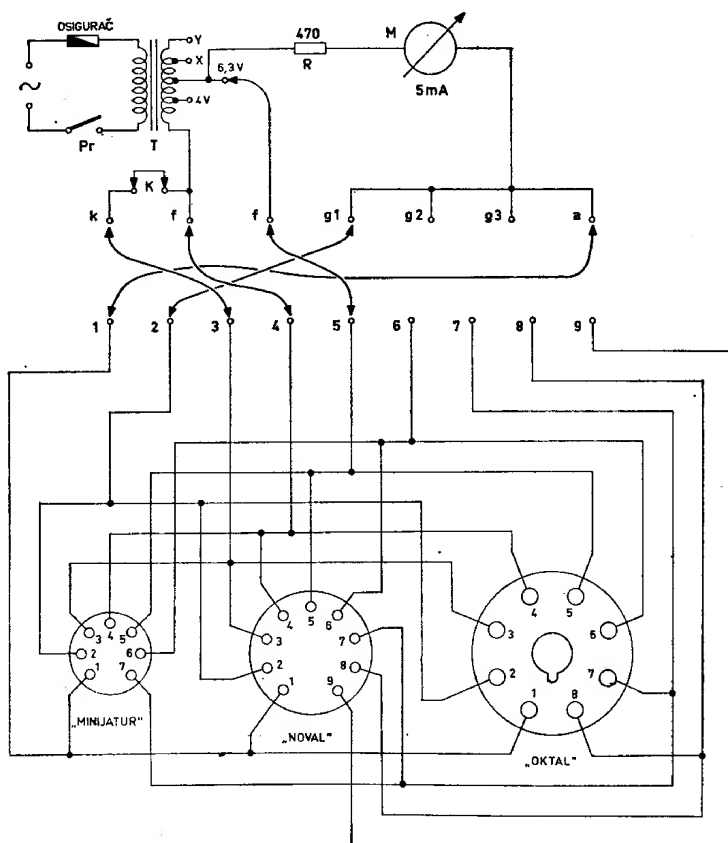
Elektronske cijevi se ispituju u tvornici i tek onda dolaze u trgovinu. Zato nove cijevi obično ne treba ispitivati. Nakon kraće ili duže upotrebe mogu se javiti pogreške, pa će onda biti potreban neki ispitivač cijevi.

Najjednostavniji ispitivači elektronskih cijevi predviđeni su redovito za utvrđivanje emisije moći katode. Takav je i ispitivač na sl.

21-11, koji je predviđen za samogradnju.

Transformator T priključuje se svojom primarnom stranom na električnu mrežu izmjenične struje. Na sekundarnoj strani mora davati napone za grijanje onih cijevi koje želimo ispitivati: za neke ispravljačice 4 V i možda još 5 V; za druge ispravljačice i većinu ostalih cijevi 6,3 V i k tome, ako je potrebno, još i neki viši naponi kod X i Y . Na sekundarnoj strani će biti dovoljno predvidjeti opterećenje strujama do 2 A.

Prema vrsti cijevi koje želimo ispitivati moraju biti ugrađena



Sl. 21-11. Shema jednostavnog ispitivača elektronskih cijevi

podnožja. Za potrebe amatera i tehničara potrebno je ugraditi moderna podnožja »noval« i »miniatur«. Korisno je dodati američko »oktal« podnožje i još koje, prema želji i potrebi.

Kontakte na podnožjima treba, numerirane u smjeru kazaljki na satu, spojiti sa priključnicama koje su označene brojevima od 1 do 9. Nasuprot ovim priključnicama su drugih sedam, koje su označene slovima, $k, f, f, g_1, g_2, g_3, a$, za različite elektrode.

Uz pretpostavku da želimo ispitati jednu od trioda u dvostrukoj cijevi ECC 85, pogledajmo najprije u neki »vademekum«, tj. u knjigu podataka o elektronskim cijevima, gdje su izvedeni pojedini priključci. Tada ćemo, npr. priključnicu k spojiti sa priključnicom br. 3, jer je na tu nožicu »noval« podnožja izvedena katoda. Priključnice za grijanje f i f spojimo sa priključnicama br. 4 i 5. Mrežica ispitivanog triodnog sistema je na nožici br. 2. Zato priključnicu br. 2 spojimo sa priključnicom g_1 . Anoda istog triodnog sistema je na nožici br. 1. Spojimo dakle priključnicu br. 1 sa priključnicom a . Ne zaboravimo još na transformatoru uključiti strujni krug grijanja na napon od 6,3 V.

Kad uključimo ispitivač, pogledajmo da li se katoda užarila. Ako nije, cijev je defektna.

Ako se katoda užarila, mjerni instrument M će pokazivati jakost struje koja ovisi o sposobnosti katode da emitira elektrone. Ako je otklon kazaljke manji nego kod ispravnih cijevi, katoda je oslabila.

Prekidanjem kontakta K mora struja pasti na nulu. Ako se to ne dogodi, onda postoji spoj između katode i žarne niti, čega kod ispravne cijevi ne smije biti.

Postoji li u unutrašnjosti cijevi kratak spoj između jedne od elektroda i katode, kroz mjerni instrument M teći će izmjenična struja. Njegova kazaljka oscilira oko nule

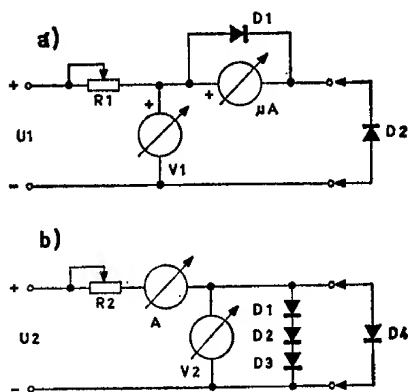
frekvencijom izmjenične struje, što je također dokaz da je cijev neispravna.

Želimo li ispitati i drugi triodni sistem, postupit ćemo analogno i svaku elektrodu ispitivanog sistema spojiti na opisani način. Za spajanje priključnica jednog i drugog reda možemo uzeti komade žica koji imaju na svojim krajevima bananske utikače. Tada možemo kao priključnice od br. 1 do 9 i od k do a staviti ukupno 16 običnih »buksni«, tj. priključnica sa rupom promjera 4 mm.

Ispitivanje ispravljačkih dioda

Za pravilnu upotrebu ispravljačkih dioda potrebno je poznavati njihova osnovna svojstva, u prvom redu maksimalno dopuštenu vrijednost zapornog napona (PIV) i, kao drugo, jakost struje s kojom se ispravljačka dioda smije opteretiti.

Ispitivanje zapornog napona može se izvesti prema sl. 21-12a. Za to je potreban izvor dovoljno visokog promenljivog napona U_1 , volt-



Sl. 21-12. Ispitivanje ispravljačkih dioda: a) određivanje maksimalno dopuštene vrijednosti zapornog napona (PIV); b) određivanje maksimalne jakosti struje s kojom se ispravljačka dioda smije opteretiti. Vidi tekst

metar velike osjetljivosti V_1 i mikroampermetar μA .

Najveća vrijednost napona U_1 treba da bude otprilike dva i po puta viša od očekivane vrijednosti za P_{IV} . Otpornik R_1 , koji služi za ograničenje jakosti struje, ima oko 50 k Ω za diode sa niskim vrijednostima za P_{IV} (oko 50 V) ili 0,5 M Ω za ispravljačke diode kojima P_{IV} iznosi oko 400 V ili više.

Pri ispitivanju moramo napon U_1 polagano povećavati i istovremeno gledati što pokazuje mjerni instrument. Dobra silicijeva ispravljačka dioda propušta vrlo slabu zapornu (inverznu) jakost struje, sve dok ona naraste do približno 10 μA . Poslije toga jakost struje brže raste, ako dalje povećavamo napon. Kao maksimalno dopustivu vrijednost zapornog napona za ispitivanu diodu možemo uzeti 80% one vrijednosti napona kod kojega je jakost struje počela brže rasti. Ako je, npr. ustanovljeno da je zaporna struja kod 500 V bila 9 μA , moći ćemo diodu bez brige upotrebljavati u ispravljaču, ako maksimalna vrijednost zapornog napona (P_{IV}) ne bude viša od 400 V.

Za ispitivanje najjače struje, kojom se dioda smije opteretiti, vrijedi sl. 21-12b. Ovdje se zapravo određuje pad napona u diodi dok kroz nju električna struja teče u propusnom smjeru.

Otpornik R_2 služi za regulaciju jakosti struje koju pomalo pojačavamo, gledajući ampermetar A i voltmetar V_2 .

Ako, npr., pad napona na diodi kod struje od 0,75 A iznosi 1,4 V, smijemo je u ispravljaču opteretiti do 0,4 A. Dioda koja podnosi 3 A ne smije kod te struje imati pad napona veći od 1,5 V. Dioda koja se može opteretiti do 2 A ne smije pokazati pad napona koji bi bio veći od 2 V. Ako imamo tvorničke podatke za ispitivani tip diode, pad napona koji izmjerimo ne smije biti veći od navedene vrijednosti,

uz jakost struje koja je predviđena podacima.

Diode D_1 , D_2 , D_3 služe samo za zaštitu voltmetra za vrijeme dok ispitivana dioda D_4 nije priključena.

Ispitivači tranzistora

Ispitivati bipolarne ili unipolarne tranzistore značilo bi, zapravo, snimati njihove karakteristike, ali to redovito neće biti potrebno. Za praktičnu upotrebu tranzistora možemo se najčešće zadovoljiti s nekoliko osnovnih informacija.

Ispitivač bipolarnih (»običnih«) tranzistora možemo načiniti onako, kako je pokazano na sl. 21-13. Shema i tablica uz nju preuzeti su iz čehoslovačkog časopisa »*Amatérské Radio*« (9/1981). Uređaj je razmjerno lako sagraditi, ako se samo pobrinemo da vodovi, kojima su međusobno spojeni sastavni dijelovi, ne budu dugački. Tada ni raspored dijelova nije kritičan.

Upotrebljen je integrirani sklop 7400 koji sadrži četiri logička NAND (»NI«) geita (»vrata«, »prolaza«). Dva od njih (A i C) upotrebljena su kao multivibrator, dok su preostala dva iskorištena za prenos impulsa u preostali dio ispitivača. Tu su još dvije svijetleće diode (LED), D_1 i D_2 ; dvije kontaktne tipke, T_1 i T_2 , dva otpornika i dioda D_3 .

Dioda D_3 štiti uređaj od krivog polariteta i ujedno reducira pogonski napon (6 V) na 5,3 V, koliko je još dozvoljeno za upotrebljeni sklop 7400.

Ispitivani tranzistor treba priključiti na uređaj za ispitivanje tako da se njegov emiter spaja na E , baza na B , kolektor na K . To moraju biti neke stezaljke za prihvreni, ali dobar kontakt.

Ispitivanje je jednostavno. Kad je tranzistor spojen na uređaj i

trode na njegovim izvodima, možemo priključke mijenjati tako dugo dok postignemo da oscilator »pro-radi«. Neki od JFET-ova su, više ili manje, simetrični. To znači da rade i onda kad su D i S zamijenjeni. »Pravi« su priključci pronađeni kad su oscilacije najjače!

Umjesto visokofrekventne pri-gušnice VFP i otpornika od $470\ \Omega$ (u strujnom krugu surs-elektrode) može se staviti i otpornik od 820 do $1500\ \Omega$ pa će onda i kod manjih razlika među ispravnim tranzistorima amplitude oscilacija (na instrumentu M) biti različite. Kao mjerni instrument može se upotrijebiti i neki sasvim malih dimenzija. Amater najčešće nema mnogo instrumenata na raspolaganje, pa je umjesto ugrađenog mjernog instrumenta moguće predvidjeti samo dvije priključnice za bilo kakav »vanjski« mjerni instrument.

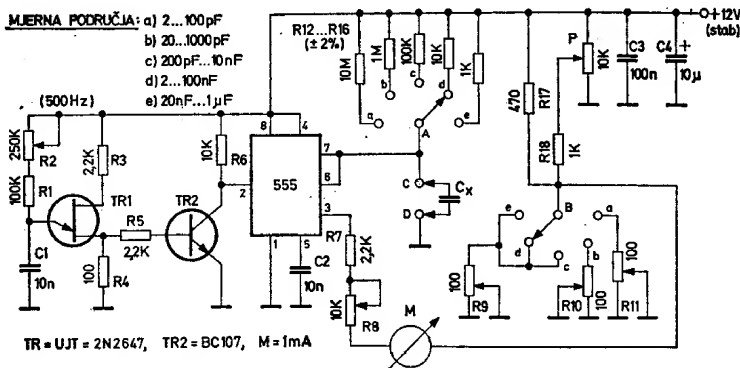
MJERENJE KAPACITETA I NIŽIH FREKVENCIJA

Način na koji se mogu mjeriti kapaciteti kondenzatora i uređaji za mjerenje nižih frekvencija, dakako, ne moraju imati direktne veze, ali dva takva uređaja, kombinirana u jedan, mogu za amatera biti od velike koristi.

Mjerač kapaciteta sa linearnom skalom

Uređaj koji može mjeriti kapacitete između $2\ \text{pF}$ i $1\ \mu\text{F}$, uz čitanje vrijednosti na linearnoj skali mjernog instrumenta, sl. 21-15, osniva se na upotrebi integriranog sklopa sa oznakom 555. On ovdje radi kao *monostabil*. To znači da ga svaki ulazni impuls okida, ali iza određenog vremena sam se vraća u prvobitno stanje.

Okidne impulse stalne frekvencije ($500\ \text{Hz}$) proizvodi tranzistor TR_1 . To je tzv. *UJT ili »unijunction«* tranzistor koji ima emiter i dvije baze. Kroz R_1 i R_2 teče struja koja nabija kondenzator C_1 . Na njemu potencijal pomalo raste. Kad dosegne određenu visinu, UJT će provesti i izbiti kondenzator, nakon čega se igra ponavlja određenim ritmom. Otpori i kondenzator odabrani su tako da bude 500 impulsa u sekundi. Impulsi teku kroz R_4 i preko R_5 se prenose na TR_2 . Ovaj tranzistor pojačava impulse i okida monostabil. On je 500 puta u sekundi okinut i svakiput daje impuls, njih 500 u sekundi. *Trajanje* izlaznih impulsa monostabila ovisi o kapacitetu C_x nepoznatog kondenzatora i o otporniku koji se bira preklopnikom A . Taj preklopnik određuje i mjerne opsege pa otpor-



Sl. 21-15. Mjerač kapaciteta između $2\ \text{pF}$ i $1\ \mu\text{F}$ u pet opsega, sa direktnim čitanjem na skali instrumenta M , prema DC6FC. Opis u tekstu

nici od R_{12} do R_{16} moraju biti što tačnijih vrijednosti, npr. na $\pm 2\%$.

Broj izlaznih impulsa je stalan ali njihovo trajanje nije. Ako je mjereni kapacitet veći, impulsi će biti duži. To znači da će kroz mjerni instrument M teći jača struja nego ako je C manji. Dvostruko veći kapacitet uvjetovat će dvostruku dužinu svakog izlaznog impulsa pa će i otklon kazaljke biti dvostruk. Skala je dakle *linearna*!

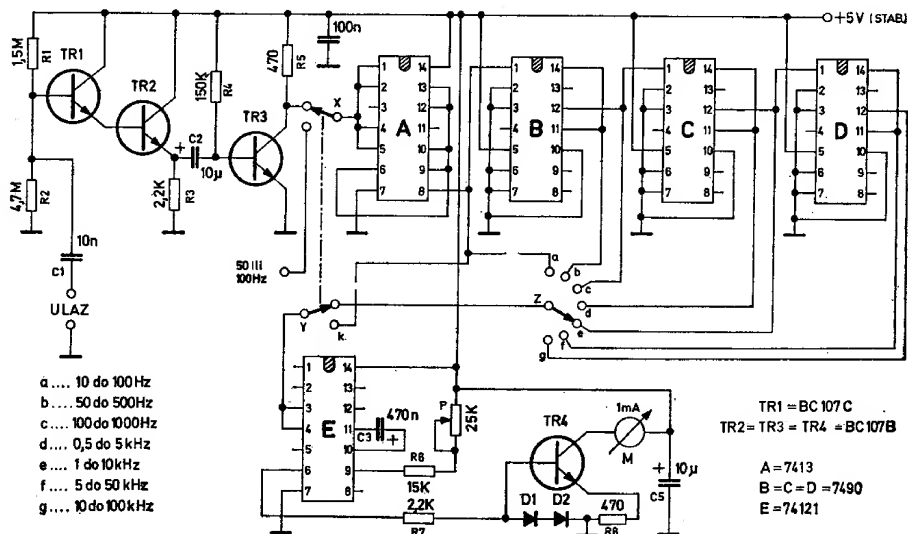
Potenciometar P određuje osjetljivost. Njime se mora postići da maksimalni otklon kazaljke instrumenta M odgovara maksimumu kapaciteta u mjernim opsezima. Budući da uređaj ima neki svoj početni kapacitet, bit će potrebno da se *nul-tačka korigira*. Za dva najosjetljivija opsega to se postiže sa R_{10} i R_{11} , a za preostale opsege sa R_9 .

Schema je nacrtana prema DC6FC (*»UKW-Berichte«*, 1/1977) uz neke preinake koje su bile potrebne pri izgradnji našeg uređaja. Ako su svi vodovi kratki, raspored sastavnih dijelova nije suviše kritičan.

Mjerenje nižih frekvencija instrumentom sa linearnom skalom

Integrirani sklop E (74121), sl. 21-16, daje izlazne impulse jednako trajanja jer je iskorišten kao monostabil. Ti impulsi odlaze tranzistoru TR_4 . Dioda D_1 i D_2 ograničuju im amplitudu tako da kroz instrument M , u kolektorskom strujnom krugu, protiču impulsi koji svi imaju *jednako trajanje i jednaku amplitudu*. Otklon kazaljke ovisi *samo o frekvenciji* kojom slijede impulsi. Potenciometrom P može se postići da je maksimalni otklon upravo kod 100 Hz.

Frekvencija koju želimo mjeriti dovodi se na $ULAZ$. Dovoljan je napon između 0,1 i 2 V da ulazno pojačalo (TR_1 , TR_2 , TR_3) radi sa ograničenjem amplitude. Tako u integrirani sklop A (7413), koji radi kao Schmitt-trigger (Šmitov okidač), stižu već donekle formirani impulsi. Tu se impulsi ulazne frekvencije pretvaraju u sasvim pravilne i, po svome obliku, o frekvenciji neovisne impulse. Oni, kad je pre-



Sl. 21-16. Mjerač frekvencije u 7 opsega, od 10 Hz do 100 kHz, prema ča-sopisu *»Funkschau«* i podacima tvrtke *»Intermetall«*. Vidi tekst

klopnik Z u položaju *a*, odlaze u sklop *E*. Možemo mjeriti frekvenciju od 10 do 100 Hz.

Integrirani sklopovi *B*, *C* i *D*, koji slijede iza *A*, su *djelitelji sa 10* (7490). Ako je preklopnik Z u položaju *c*, ulazna frekvencija može biti između 100 i 1000 Hz, dok će u sklop *E* opet stizati impulsi između 10 i 100 Hz. Isti opseg frekvencija stiže do sklopa *E* i onda kada je preklopnik Z u položaju *e*, iako je opseg ulaznih frekvencija između 1 i 10 kHz. Uključena su, naime, dva djelitelja sa 10.

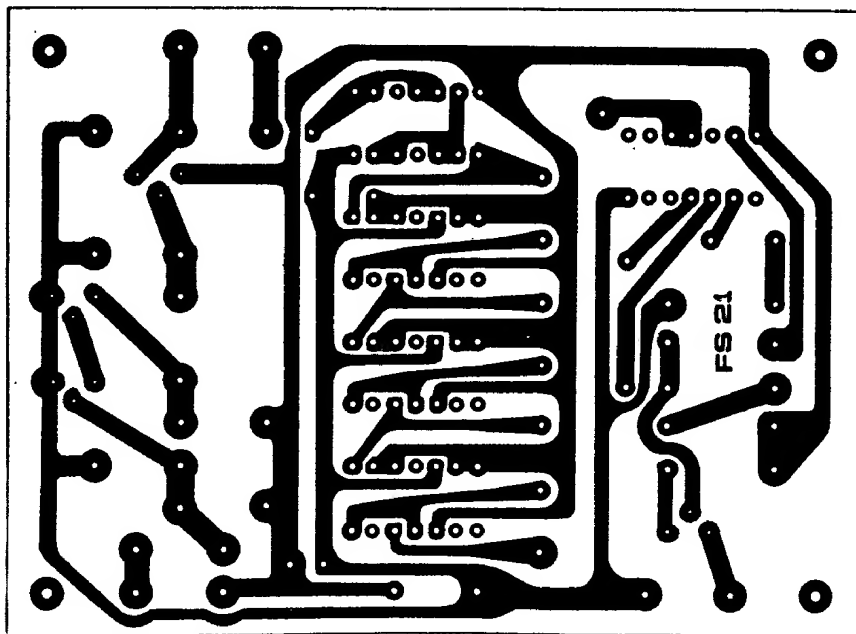
Uključimo li sva tri djelitelja sa 10, frekvencija može biti $10 \times 10 \times 10 = 1000$ puta viša, između 10 i 100 kHz. Ipak će do *E* stizati frekvencija u opsegu od 10 do 100 Hz. Preklopnik Z je onda u položaju *g*.

Zanimljivo je da je kod ovog mjerača frekvencije iskorištena i mogućnost *dijeljenja sa 5* u istim integriranim djeliteljima (priklu-

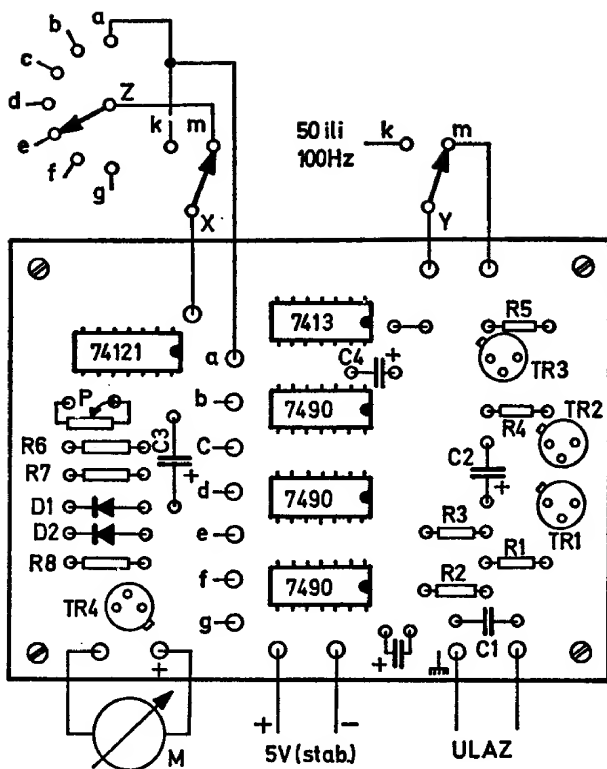
čak na nožicu br. 11). Tako se u položaju *b*, *d* i *f* preklopnika Z postižu i opsezi od 50 do 500 Hz, od 0,5 do 5 kHz i od 5 do 50 kHz.

Raspored sastavnih dijelova nije kritičan, ako se pazi da *svi spojevi budu kratki*. Crtanje vodova za štampanu pločicu traži poprilično vremena. Zato je na sl. 21-17 gotov crtež, prema časopisu »*Funkschau*« i podacima tvornice »*Intermetall*«. Mi smo upotrebili domaće integrirane sklopove (»RIZ-Zagreb«) i domaće tranzistore BC 107. Raspored dijelova na pločici je prikazan na sl. 21-18.

Osim preklopnika sa 7 položaja (*Z*) tu je i dvostruki preklopnik *X/Y*. Pomoću njega se može redovito kontrolirati skala tako da se u mjerač frekvencije dovede 50 Hz iz električne mreže izmjenične struje (od transformatora u pogonskom ispravljaču za mjerač frekvencije; do 2 V) ili signal frekvencije 100 Hz. *Kako doći do 100 Hz?* Taj je



Sl. 21-17. Štampana pločica za mjerač frekvencije, sl. 21-16.

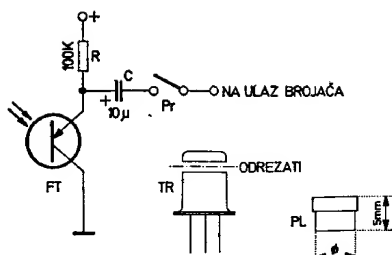


Sl. 21-18. Raspored dijelova za mjerac frekvencije, na pločici prema sl. 21-17

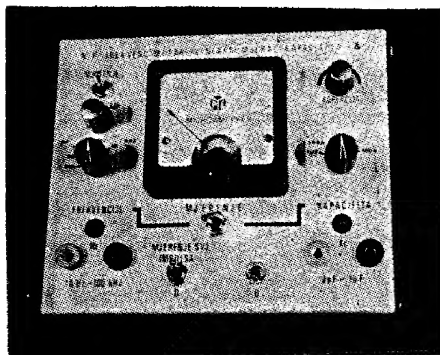
problem rješio YU2RMS na zanimljiv način, sl. 21-19. Neki P-N-P tranzistor, kako je nacrtan, ili N-P-N tranzistor (sa međusobno zamijenjenim priključcima) može poslužiti toj svrsi. Metalnom kućištu tranzistora odrežemo »kapu« i zatvorimo ga prozirnim čepićem od pleksiglasa *PL*. Da tranzistor bude opet hermetički zatvoren, treba čepić ulijepiti, npr. »cijanofiksom«. *Baza tranzistora ostaje neiskorištena*, jer struja kroz tranzistor ovisi sada o svjetlosti koja, kroz prozirni čepić, dolazi do silicijeve pločice u tranzistoru. Dobili smo *foto-tranzistor*! Ako ga okrenemo prema bilo kojoj žarulji (sijalici), priključenoj na električnu mrežu

od 50 Hz, naš će fototranzistor, preko kondenzatora *C* (10 μ F) u mjerac frekvencije slati 100 Hz. Nit žarulje se zagrijava svaki puta kad struja poteče, bez obzira na smjer. Kod 50 Hz struja teče 50 puta u jednom i 50 puta u suprotnom smjeru svake sekunde. Nit se *zagrijava* $50 + 50 = 100$ puta u sekundi pa i svjetlost koju nit daje također »vibrira« tom frekvencijom!

Oba uređaja, mjerac kapaciteta i mjerac frekvencije, YU2RMS je ugradio u istu kutiju, sl. 21-20, iskoristivši isti mjerni instrument i isti stabilizirani ispravljač. Dakako, i fototranzistor, prema sl. 21-19, ugrađen je u tu kutiju!



Sl. 21-19. Foto-tranzistor FT, osvijetljen običnom žaruljom (sijalicom), koja je priključena na električnu mrežu izmjenične struje, kao izvor frekvencije od 100 Hz za baždarenje mjerača frekvencije prema sl. 21-16. U tekstu je opisano kako se iz običnog bipolarnog tranzistora može napraviti foto-tranzistor (prema YU2RMS)

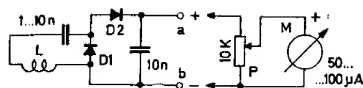


Sl. 21-20. Izgled kombiniranog mjernog uređaja za mjerenje frekvencije i kapaciteta. Ugrađeni su mjerači prema shemi na sl. 21-15 i sl. 21-16, sa pripadajućim stabiliziranim ispravljačem (YU2RMS)

VF INDIKATORI, APSORPCIONI VALOMJERI I DIP-METRI

Indikatori visokih frekvencija

Indikator visoke frekvencije je pribor kojim se može ispitati da li je negdje prisutna struja visoke frekvencije. Jednostavan VF indi-



Sl. 21-21. Induktivna sonda sa zavojnicom L za ispitivanje prisutnosti visokih frekvencija

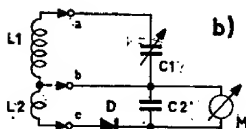
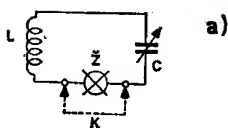
kator je prikazan na sl. 21-21. Zavojnica (1 ili 2 zavoja) može se primaknuti nekoj zavojnici ili nekom vođu u kojemu mislimo da bi mogla ili bi trebala teći visokofrekventna izmjenična struja. Ako se u zavojnici inducira VF napon, diode D_1 i D_2 će ga ispraviti i mjerni instrument pokazati. Iako se na taj način ne može ocijeniti kolika je frekvencija, ipak nam takva sprava može dati korisnu informaciju o tome ima li ili nema negdje visokofrekventnih struja, da li neki oscilator radi, da li je neki titrajni krug ugođen na resonanciju i slično.

Apsorpcioni valomjeri

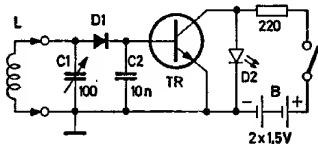
Nema jednostavnijeg pribora za mjerenje frekvencije od titrajnog kruga koji se može ugoditi na resonanciju. Ako dodamo još malu žaruljicu (sijalicu), kakva služi u džepnim svjetiljkama, imamo gotov »valomjer« (sl. 21-22a). Približno li zavojnicu L zavojnici izlaznog titrajnog kruga nekog predajnika ili oscilatora, koji ima snagu od barem 1 W, kod resonancije će žaruljica zasijati. Ako je skala kondenzatora C baždarena, moći ćemo odrediti frekvenciju.

Ovakvo mjerenje frekvencije nije osobito precizno, ali nam može biti korisno pri ugađanju predajnika. Čak i onda, ako se u oscilatoru nalazi kvarcov kristal, mogao bi izlazni titrajni krug predajnika biti pogrešno ugođen, na neku neželjenu harmoničku frekvenciju.

Resonancija je oštrija ako žaruljicu Z zamijenimo kratkim spo-



Sl. 21-22. Apsorpcioni valomjeri: a) bez mjernog instrumenta, sa žaruljicom ili bez nje; b) sa diodom i miliampermetrom kao pokazivačem resonancije



Sl. 21-23. Apsorpcioni valomjer sa pojačalom i svijetlećom diodom kao pokazivačem resonancije. Vidi tekst

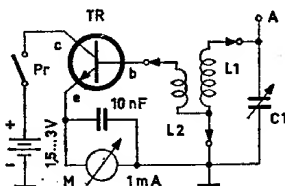
jem K. Takav titrajni krug apsorbira električnu energiju ispitivanog oscilatora, odnosno stupnja u predajniku, pa se resonancija može utvrditi po promjeni jakosti struje (anodne ili kolektorske) u ispitivanom ili u slijedećem stupnju.

Najlakše je mjeriti frekvenciju ako je u valomjer ugrađen bolji pokazivač resonancije, kao na sl. 21-22b. Za tu svrhu ovdje služi dioda D i mjerni instrument M (0,1 do 1 mA). Zavojnica L_2 , na koju je priključen pokazivač resonancije, ima manje zavoja nego zavojnica L_1 u titrajnom krugu. Zato je ovaj manje opterećen pa je resonancija oštra, a mjerenje tačnije. Na tablici 21-1 navedeni su približni brojevi zavoja za L_1 i L_2 uz uvjet da je maksimalni kapacitet promjenljivog kondenzatora C_1 oko 100 pF. Brojevi zavoja vrijede za promjer od 28 do 30 mm. Ako je promjer

valjka na kojemu su namotane zavojnice manji, potrebno je namotati nešto više zavoja.

U valomjeru, sl. 21-23, mjerni je instrument zamijenjen svijetlećom diodom D_2 . Ona normalno svijetli, dokle god se valomjer nalazi daleko od svih titrajnih krugova sa VF strujama. Ako se valomjer svojom zavojnicom L približi, npr. nekom oscilatoru, i kondenzatorom C postigne resonancija, tranzistor TR se »otvori«, otpor mu se smanji pa on više ili manje kratko spaja diodu D_2 . Kod snažne resonancije dioda D_2 će se »ugasiti«. Mali pomak promjenljivog kondenzatora, dovoljan da pokvari resonanciju, bit će također dovoljan da D_2 ponovo zasvijetli!

Apsorpcioni valomjer sa dvije osjetljivosti može se sagraditi pomoću tranzistora (sl. 21-24). Tranzistor TR može, za manju osjetljivost, zamijeniti diodu pokazivača resonancije. Pri tome prekidač P ostaje otvoren. Kada zatvorimo prekidač, tranzistor pojačava struju koja teče kroz njegovu bazu b . Kolektorska struja je mnogo puta jača (ovisno o tranzistoru). Emitterska struja, koja teče kroz miliampermetar, jednaka je zbroju struje koja teče preko baze i one koja teče preko kolektora. Na taj način postaje i pokazivanje resonancije mnogo osjetljivije, čime je omogućeno mjerenje frekvencije i najsla-



Sl. 21-24. Apsorpcioni valomjer sa dvije osjetljivosti. Tranzistor radi kao dioda ili kao strujno pojačalo. Ako se kod A doda kratka pomoćna antena isti uređaj može poslužiti kao osjetljivi mjerač polja

Tablica 21-1. Zavojnice apsorpcionog valomjera (sl. 21-22)

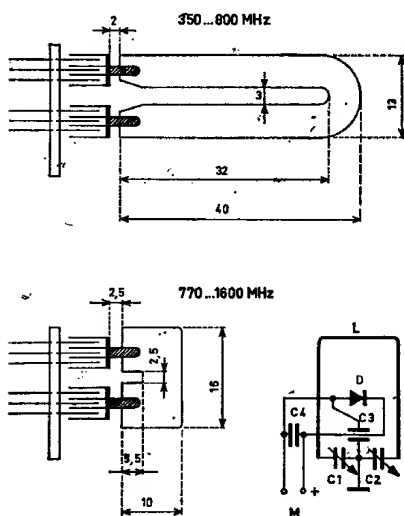
Područje frekvencija	Zavojnica L ili L_1	Zavojnica L_2	Debljina i vrsta žice
1,5 do 4 MHz	80 zavoja	8 zavoja	0,25 mm, CuL
4 do 12 MHz	29 zavoja	3 zavoja	0,7 mm, CuL
12 do 40 MHz	7 zavoja	2 zavoja	1 mm, CuL

Napomena: Zavojnice treba motati na valjku promjera 28 do 30 mm, zavoj do zavoja.

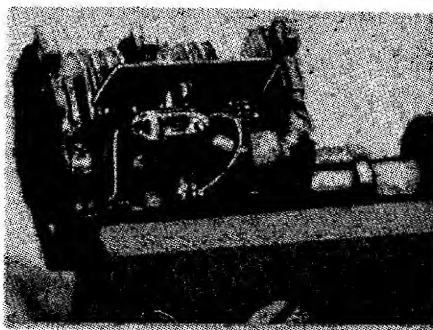
bijih oscilatora. Najbolji su za tu svrhu silicijevi tranzistori, kao što su BC 107, BC 108 ili slični. Razumije se da mogu biti upotrebljeni i germanijevi kratkovalni tranzistori, ali tada treba promijeniti polaritet suhe baterije i mjernog instrumenta.

Za mjerenje najviših frekvencija, za UKV između 350 i 1600 MHz, veoma su pogodni apsorpcioni valomjeri kojima su oblik i dimen-

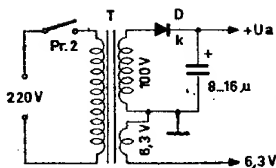
zije, prema francuskom amaterskom časopisu »*RADIO REF*«, prikazani na sl. 21-25. Desno, dolje je shema na kojoj vidimo da se titrajni krug sastoji od petlje L i dvostrukog promjenljivog kondenzatora C_1/C_2 od 2×10 pF maksimalnog kapaciteta. Dioda D koja se nalazi tik uz petlju (sl. 21-26) ispravlja visokofrekventne struje pa se na priključnice M može spojiti osjetljivi mjerni instrument, mili-



Sl. 21-25. Skica i shema za gradnju valomjera za UHF područje od 350 do 800 MHz i od 770 do 1600 MHz (prema »*RADIO REF*«)



Sl. 21-26. Detalj apsorpcionog valomjera za 770 do 1600 MHz. Vidi se dioda iz serije germanijevih »sa tačkom«, serije OA... Ona mora imati što je moguće manji vlastiti kapacitet. Ova na slici je izabrana tako da što bolje radi. Bolja bi bila dioda koja je posebno načinjena za tako visoke frekvencije, npr. »Hewlett-Packard« iz serije H.P.5082 ili neka druga Schottky-jeva dioda



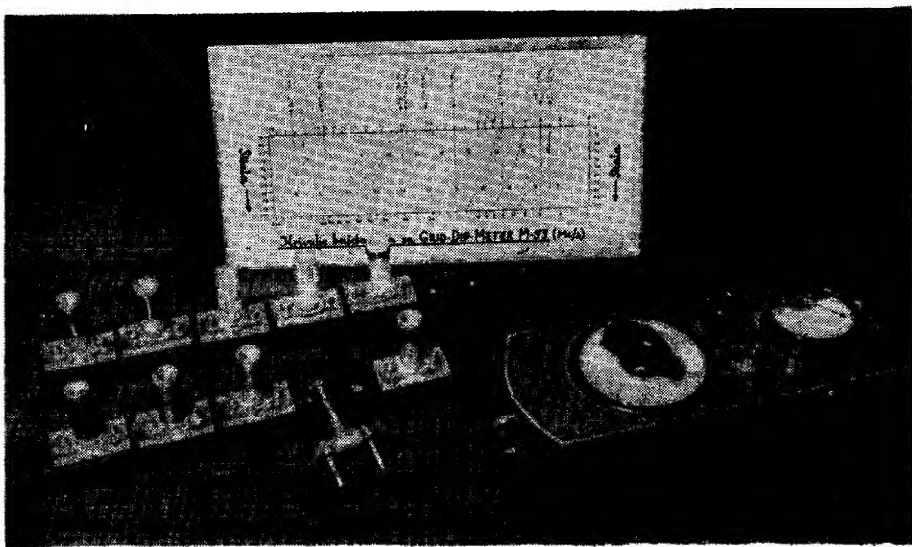
Sl. 21-29. Ispravljač za grid-dip-metar

ispravljača i jednako označene priključnice GDM-a stavimo promjenljivi otpornik (20 do 50 kΩ), moći ćemo mijenjati anodni napon oscilatora a time ujedno i amplitudu oscilacija.

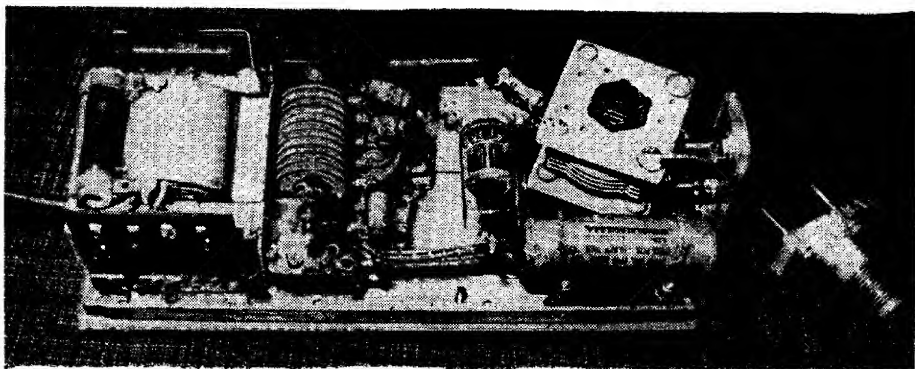
Vanjski izgled takvog grid-dip-metra zajedno sa čitavim slogom njegovih zavojnica za područje frekvencija između 2,5 i 180 MHz, vidimo na sl. 21-30. U pozadini slike je dijagram sa krivuljama baždarenja koje omogućuju čitanje frekvencije za svaku pojedinu za-

vojnicu. Prema opsegu u kojemu želimo mjeriti odabire se određena zavojnica. Ako je kapacitet kondenzatora C_1/C_2 veći, potreban broj zavojnica će za isto područje frekvencije biti manji i obrnuto.

Sl. 21-31 omogućuje pogled u unutrašnjost. Sasvim lijevo je transformator, do njega selenski ispravljač, zatim elektronska cijev i promjenljivi kondenzator. Ispred njega je elektrolitski kondenzator ispravljača. Sasvim desno su priključnice u koje se može utaknuti zavojnica. Jedna od njih je na slici. Selenski ispravljači su danas dobili boljeg nasljednika u obliku silicijevih dioda, ali ovaj »diper« je bio sagrađen još 1955. I elektronska cijev je ostala ista, iako je instrument kroz sve ovo vrijeme bio nebrojeno puta u upotrebi. Tačnost mu također potpuno zadovoljava. Ovo se može postići jedino uz uvjet



Sl. 21-30. Grid-dip-metar (GDM) sa svojim zavojnicama. Straga, na milimetarskom papiru, je dijagram sa krivuljama baždarenja za sve mjerne opsege, za frekvencije od 2,5 do 180 MHz. U GDM je utaknuta »zavojnica« koja ima samo pola zavoja. Ona služi za mjerenje najviših frekvencija. Zavojnice se čuvaju od oštećenja tako da ih se, kad ne trebaju, utakne u rupice, koje su izbušene na dvije drvene prečkice. Jedna je zavojnica izvađena sa svog mjesta i prislonjena na prednju prečkicu



Sl. 21-31. Unutrašnjost grid-dip-metra. Sa desne strane je jedna od ukupno jedanaest zavojnica

da su svi sastavni dijelovi najbolje kvalitete, da ih dobro učvrstimo i međusobno spojimo tako da se ništa ne može ni malo pomaknuti.

Elektronska cijev za diper može biti kojagod minijatura trioda, npr. EC92, polovica u cijevi ECC 81, ECC82, 6J6 itd.

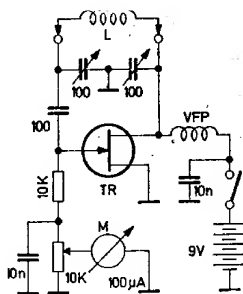
Tranzistorski dip-metri

Od svih tranzistora triodi je naj sličniji FET. Njega se može iskoristiti za gradnju dip-metra na isti način, kao i triodu. Takva je i shema na sl. 21-32. Ona sasvim odgovara shemi na sl. 21-28. Pa, *zašto smo onda opisivali dip-metar sa elektronskom cijevi?*

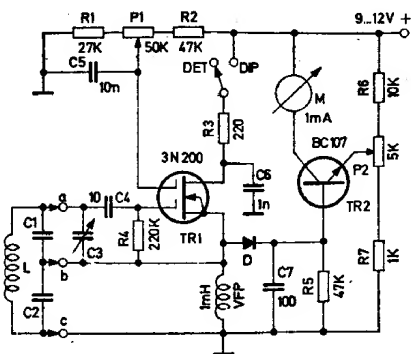
Istina je, dip-metar sa tranzistorom je »moderniji«, neovisan je od električne mreže... Da, ali... Iako kao dip-metar vrlo dobro radi, njegova VF snaga je znatno manja, što može biti u nekim slučajevima nedostatak. Osim toga, kad napajanje iz ugrađene baterije (9 V) prekinemo i kad želimo da tranzistorski dip-metar upotrebimo kao apsorpcijski valomjer, što je sasvim lako moguće, opazit ćemo da frekvencije, koje su ispisane na skali, više ne vrijede. Skala je netačna! To dolazi otuda jer se *unutarnji kapaciteti tranzistora* jako

mijenjaju, ako se mijenja napon među elektrodama! Zato se preporučuje da dip-metar, prema sl. 21-32, upotrebljavamo samo sa uključnim naponom, ukoliko se ne možemo zadovoljiti sa manje preciznim pokazivanjem istog uređaja u ulozi apsorpcijskog valomjera. Kad je riječ o »preciznosti«, onda treba naglasiti da ona ni kod jednog dip-metra nije osobito velika. Mjerenje frekvencije se postiže na $\pm 2\%$ u najboljem slučaju.

Dip-metar sa MOSFET-om, sl. 21-33, je već mnogo bolji. Oscilacije se pobuđuju povratnom vezom koja je ostvarena kapacitivnim razdjelnikom C_1/C_2 . Frekvencija se



Sl. 21-32. Jednostavan dip-metar sa FET-om po shemi i svome radu odgovara cijevnom dip-metru. Vidi tekst



Sl. 21-33. Shema tranzistorskog dipmetra. U oscilatoru je MOSFET sa dvije gejt-elektrode (3N200). Drugi tranzistor je BC107 koji služi kao strujno pojačalo za mjerni instrument M. Vidi tekst

mlienia promjenliivim kondenzatorom C_s . Kad uređaj radi kao dipmetar mora potencijometar P_1 na drugi gejt MOSFET-a (3N200) dati maksimalni napon za maksimalno jake oscilacije. Njihovu je amplitudu moguće regulirati promjenom tog napona (sa P_1).

Tranzistor TR_2 , zajedno sa diodom D , služi kao pokazivač amplitude oscilacija. Njih čitamo na instrumentu M . Potenciometrom P_2 dovodi se kazaljka instrumenta *oko polovice skale* da se »dip« može lakše vidjeti.

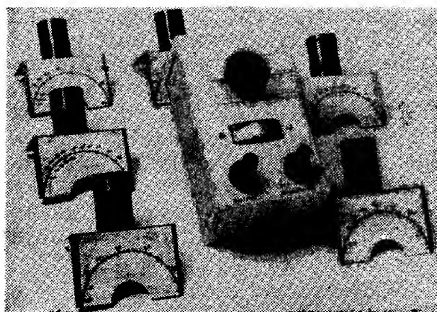
Isti instrument može poslužiti i kao apsorpcijski valomjer. To se postiže na dva načina. Prvi je način taj, da se sa P_1 oscilacije oslabi toliko da još jedva postoje ili da ih više uopšte nema. Budući da u tome stanju ipak na MOSFET-u ostaje pogonski napon, unutrašnji se kapaciteti neće mnogo promijeniti i pokazivanje dip-metra neće biti poremećeno. Drugi je način prekidanje pogonskog napona (preklopnik iz položaja »DIP« u položaj »DET«). Na drugom gejt u ipak ostaje pozitivni prednapon i uređaj se može koristiti kao apsorpcijski valomjer.

Na tablici 21-2 su podaci o zavojnicama i o kondenzatorima C_1 i C_2 .

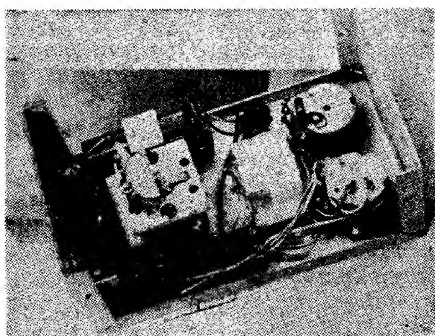
Tablica 21-2. Podaci za dip-metar sa MOSFET-om, sl. 21-33, uz promjenljivi kondenzator (C_s) od 35 pF maksimalnog kapaciteta

Opseg frekvencije (MHz)	C_1 (pF)	C_2 (pF)	Zavojnica L_1		
			broj zavoja (*)	žica CuL, mm Ø	promjer tijela
2,3 do 4	15	15	71,5	0,5	20 mm
3,4 do 5,1	33	10	39,5		
4,8 do 8	10	33	25,5		
7,9 dn 13	10	33	14,5		
12,8 do 21,2	10	33	6,5		
21 do 34	10	33	4,5		
34 do 60	10	33	2,5		
60 do 110	10	33	1,5	1	13 mm
90 do 200	nema	nema	petlja od žice, duga 89 mm široka 9,5 mm (CuL, 2 mm Ø)		

*) Podaci su približni i treba ih kod baždarenja popraviti.



Sl. 21-34. Izgled dip-metra sa dva tranzistora, prema sl. 21-33. Oko nje-ga su zavojnice sa svojim skalama. Opis u tekstu



Sl. 21-35. Pogled u unutrašnjost tranzistorskog dip-metra, sl. 21-34. Promjenljivi kondenzator montiran je izolirano!

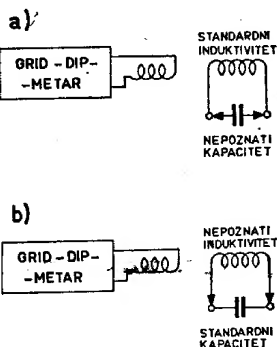
Pogled na dip-metar i na zavoj-nice koje se mogu mijenjati je na sl. 21-34. Na svaku je zavojnicu učvršćena i pripadajuća skala za čitanje frekvencije. Pogled u unu-trašnjost dip-metra omogućuje sl. 21-35. Sve je montirano na »gornji« dio limene kutije. Mala 9-voltna »tranzistorska« baterija vidi se li-jevo gore na slici, iza promjenjlji-vog kondenzatora.

Skale se crtaju upoređujući dip-metar s drugim koji je već baž-daren.

Upotreba dip-metra

Za mjerenje vlastite resonantne frekvencije titrajnih krugova treba zavojnicu dip-metra približiti za-vojnici ispitivanog titrajnog kruga. Treba pronaći frekvenciju kod koje će se pojaviti »dip«, tj. smanjenje otklona kazaljke na mjernom in-strumentu dip-metra. Pri tome raz-mak među zavojnicama ne smije biti premalen. Kad smo već opazili »dip«, udaljimo zavojnice jednu od druge toliko da dubina »dipa« ne bude veća od približno 10% otklo-na kazaljke. Tada je »dip« dovoljno jasan i frekvencija se može tačno odrediti.

Mjerenje frekvencije oscilatora (i drugih titrajnih krugova sa viso-kofrekventnim strujama nepoznate frekvencije) može se izvršiti dip-metrom, koji *sam ne oscilira*. Mjerni instrument pokazuje nulu. Njegova funkcija odgovara apsorpc-ionom valomjeru. Zavojnicu dip-metra približimo zavojnici titrajnog kruga kojemu želimo izmjeriti frek-venciju i tražimo resonanciju na dip-metru. To je postignuto, kad ka-zaljka mjernog instrumenta pokaže maksimalni otklon. Ponovno treba nastojati da zavojnice nisu jedna drugoj preblizu da se na mjernom



Sl. 21-36. Princip mjerenja grid-dip-metrom: a) mjerenje nepoznatog kapaciteta; b) mjerenje nepoznatog induktiviteta

instrumentu dipera može jasno uočiti maksimum.

Dip-metrom mogu se izmjeriti kapaciteti nepoznatih kondenzatora kao i induktiviteti nepoznatih zavojnica. Za takva mjerenja (s. 21-36) trebamo standardni induktivitet i standardni kapacitet. Iskustvo je pokazalo da je za *standardni induktivitet* veoma pogodna vrijednost $5 \mu\text{H}$. Za *standardni kapacitet* odgovara 100 pF .

Ako nam je poznata standardna vrijednost induktiviteta i vlastita frekvencija f titrajnog kruga, kapacitet možemo izračunati:

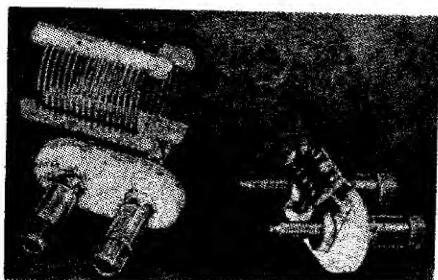
$$C (\text{pF}) = \frac{25\,330}{L (\mu\text{H}) \cdot f^2 (\text{MHz})}$$

Ako je poznata standardna vrijednost kapaciteta i vlastita frekvencija f titrajnog kruga, možemo izračunati induktivitet:

$$L (\mu\text{H}) = \frac{25\,330}{C (\text{pF}) \cdot f^2 (\text{MHz})}$$

Standardni induktivitet predstavlja posebna mjerna zavojnica, dok standardni kapacitet predstavlja mjerni kondenzator. Ove »standarde« moramo montirati na takav način da im vrijednosti kroz dugo vrijeme ostanu nepromijenjene i da se ispitivani kondenzatori, odnosno zavojnice, s njima mogu lako i brzo spojiti, npr. prema sl. 21-37.

Da ne moramo svaki put računati, možemo vrijednosti kapacite-



Sl. 21-37. Zavojnica od $5 \mu\text{H}$ koja služi za mjerenje kapaciteta i kondenzator od 100 pF koji služi za mjerenje induktiviteta dip-metrom

ta odrediti pomoću dijagrama na sl. 21-38. Vrijednosti induktiviteta možemo odrediti pomoću dijagrama na sl. 21-39. U svakom slučaju moramo nastojati da udaljenost između zavojnice dip-metra i standardne, odnosno ispitivane zavojnice bude što je moguće veća, tolika da se »dip« upravo još može jasno vidjeti. Tada je i tačnost mjerenja najveća, sl. 21-40.

Mjerenje se može izvršiti bilo kojim baždarenim dip-metrom, a tačnost mjerenja ovisi pretežno o tačnosti samog dip-metra.

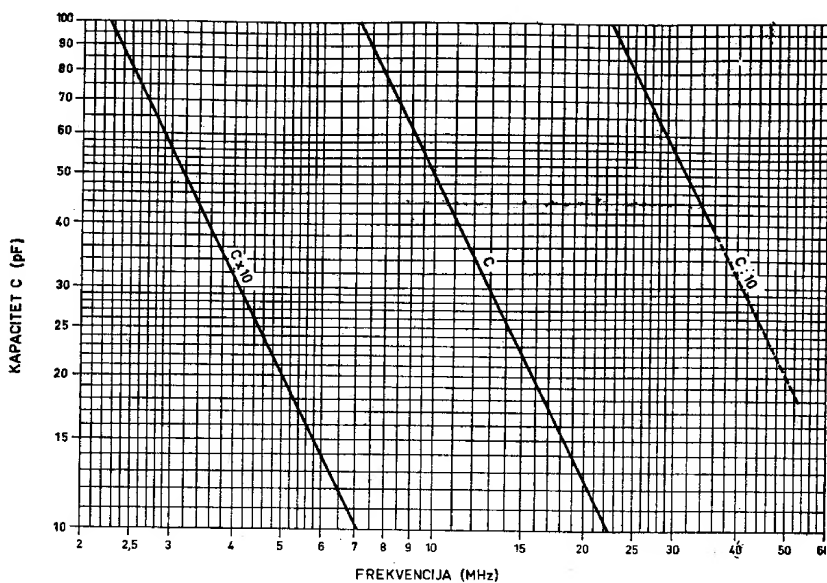
Pri mjerenju vrlo malih vrijednosti kapaciteta potrebno je uzeti u obzir i kapacitet same standardne zavojnice i njenih priključnica. Ako je standardna zavojnica načinjena prema sl. 21-37, njezin kapacitet u pikofaradima približno je jednak njenom promjeru u centimetrima. Kapacitet priključnica je oko 1 pF .

Ako mjerimo induktivitet sa svim malih zavojnica moramo dodati i induktivitet žica preko kojih je zavojnica spojena sa standardnim kondenzatorom. Taj iznosi kod montaže prema sl. 21-37 oko $0,03 \mu\text{H}$.

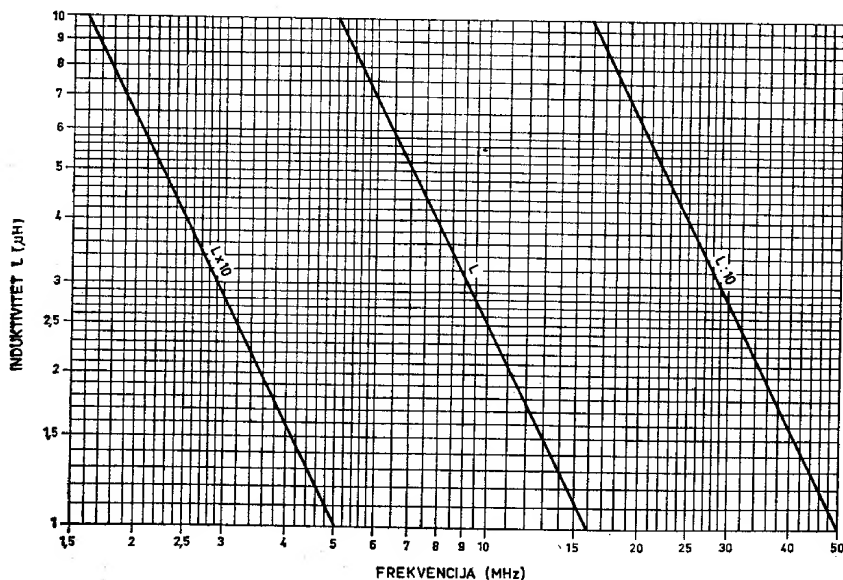
»Standarde« ćemo sami načiniti. Najprije ćemo montirati standardni kondenzator koji ima (što je moguće tačnije!) 100 pF kapaciteta. Zatim ćemo načiniti zavojnicu od $5 \mu\text{H}$ služeći se dijagramom na sl. 21-39. Standardna zavojnica mora zajedno sa standardnim kondenzatorom resonirati na frekvenciju od $7,1 \text{ MHz}$, što nije teško postići uz malo strpljivosti.

Mjerenje kapaciteta, dip-metrom i standardnom zavojnicom vidi se na sl. 21-40.

Koeficijent induktivne veze između dvije zavojnice također se može odrediti istim priborom. Treba jednostavno izmjeriti dvije vrijednosti induktiviteta jedne od zavojnica, najprije uz otvorene, a onda uz kratko spojene krajeve druge zavojnice. Standardni kon-



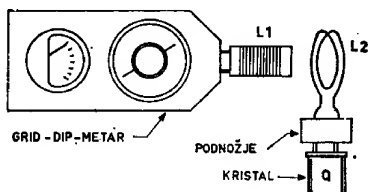
Sl. 21-38. Grafikon za određivanje nepoznatog kapaciteta C u opsegu od 5 do 1000 pF pomoću dip-metra i »standardne» zavojnice koja mora imati induktivitet od 5 μH



Sl. 21-39. Grafikon za određivanje nepoznatog induktiviteta L u opsegu od 0,1 do 100 μH pomoću dip-metra i »standardnog» kondenzatora koji mora imati kapacitet od 100 pF

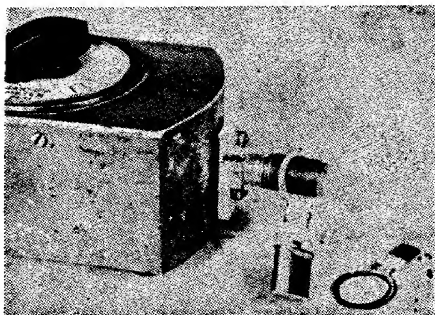


Sl. 21-40. Mjerenje kapaciteta dip-metrom. Kondenzator kojemu se mjeri kapacitet je kod C, spojen na krajeve »standardne« zavojnice. Ova ne smije biti preblizu zavojnici dip-metra



Sl. 21-41. Mjerenje osnovnih i neparnih viših frekvencija kvarcovih kristala dip-metrom

denzator od 100 pF spojimo paralelno sa jednom zavojnicom i odredimo joj induktivitet dok su



Sl. 21-42. Dva zavoja su dosta za vezu kvarcnog kristala sa zavojnicom dip-metra. Kristal je utaknut u podnožje na koje je zalemljena zavojnica od dva zavoja

krajevi druge zavojnice slobodni. Zatim kratko spojimo krajeve druge zavojnice i ponovno odredimo induktivitet prve. Koeficijent veze među njima izračunamo ovako:

$$k = 1 - \frac{L_2}{L_1}$$

gde je k = koeficijent međusobne veze, L_1 = induktivitet prve zavojnice kod prvog mjerenja. L_2 = induktivitet prve zavojnice kod drugog mjerenja.

Osnovnu frekvenciju kvarcovih kristala vrlo je lako odrediti pomoću GDM-a, ako kristal utaknemo u podnožje na koje je zalepljena zavojnica L_2 (sl. 21-41). Obično su dovoljna 2 do 3 zavoja koji imaju nešto veći promjer od zavojnice L_1 dip-metra. Obje zavojnice moraju biti blizu jedna drugoj. Kad frekvenciju dip-metra dovedemo do vrijednosti osnovne frekvencije ili koje od neparnih frekvencija kvarcove pločice, primjećuje se vrlo oštar i sasvim jasan »dip« na instrumentu. Osnovna frekvencija je najniža od svih ostalih frekvencija na koje kvarc može resonirati. Osnovnu frekvenciju možemo također dobiti kao polovicu razlike dvaju uzastopnih frekvencija koje izmjerimo dip-metrom.

Ako zavojnicu L_2 , onu s kvarcovim kristalom, natakemo na zavojnicu dip-metra L_1 , opaža se duboki dip na svim frekvencijama kristala, na osnovnoj kao i na neparnim višim frekvencijama, sl. 21-42. Čitanje frekvencije na skali dip-metra tada nije moguće, jer kod tako snažne induktivne veze između L_1 i L_2 kvarc *sinhronizira* oscilacije »dipera«. On tada može poslužiti kao izvor tih, kvarcom stabiliziranih frekvencija. Takva sinhronizacija je kod dobrog kristala moguća sve do njegove sedme ili čak devete više frekvencije.

GENERATORI SIGNALA

Generatori niskofrekventnih signala

Kao generator niskofrekventnog signala može poslužiti bilo koji niskofrekventni oscilator koji daje sinusoidne niskofrekventne napone i kojemu se izlazni napon može regulirati.

Niskofrekventni oscilator (»ton-generator«), osobito ako mu se može mijenjati frekvencija, vrlo je koristan u svakom laboratoriju radio-tehničara, kao i u radnom »kutu« ili u »hobici« radio-matera (»hobica« = sobica za »hobi«, HI). Primjer takvog oscilatora je na shemi, sl. 21-43. Nije ga teško sagraditi. Može služiti kao generator tonskih frekvencija za ispitivanje NF stupnjeva u pojačalima, prijemnicima i u modulatorima za predajnike. Osim toga možemo ga upotrebiti i kao kvalitetnu »zujalicu« za učenje telegrafije.

Integrirano operacijsko pojačalo IL 741 iskorišteno je za pobuđivanje oscilacija. Frekvencija im se može mijenjati dvostrukim potencijometrom ($P_1 + P_2$). Njihov maksimalni otpor neka bude oko 25 k Ω i najbolje je da su linearni. Predviđena su tri opsega frekvencije: od 20 do 200 Hz, od 200 do 2000 Hz i od 2 kHz do 20 kHz. Za

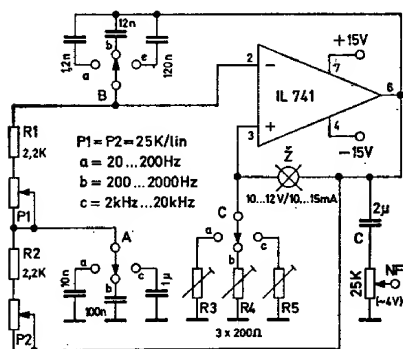
izbor jednoga od ovih opsega služi preklopnik sa tri položaja za tri strujna kruga. Od ovih A i B biraju kondenzatore koji određuju frekvenciju, dok preklopnik C bira jedan od tri promjenljiva otpornika (po 200 Ω). Ovi otpornici, u vezi sa žaruljicom Z, određuju pojačanje. Otpor žaruljice ovisi o temperaturi. Hladnijoj niti je otpor manji nego užarenoj. Ako bi amplituda niskofrekventnih oscilacija pokazala »namjeru« da bude veća, žaruljica se jače grije i promjena njenog otpora utječe na pojačanje. Ono postaje manje i amplituda, ostaje praktički konstantna.

Odgovarajuću žaruljicu se može naći među onima koje inače upotrebljavaju u telefonima za signalna svijetla. Ako na takvoj žaruljici piše, npr. 24 V/0,05 A, moći ćemo i takvu upotrebiti, ali će biti potrebno za R_3 , R_4 i R_5 pronaći druge, odgovarajuće, vrijednosti. Pojačanje ovisi o omjeru otpora žaruljice i otpora koji je uključen preklopnikom C. Otpornike R_3 , R_4 i R_5 treba odabrati tako da izlazni NF napon bude sinusoidaln. To je najbolje i najlakše postići oscilografom. Ako ga nemamo, što je najčešće kod amatera, onda ćemo paziti da izlazni napon (maksimum na izlaznom potencijometru!) ne bude veći od 4 V, uz napon napajanja za operacijsko pojačalo od 2 \times 15 V. U tome slučaju smijemo očekivati da izlazni napon »nije daleko« od sinusoide.

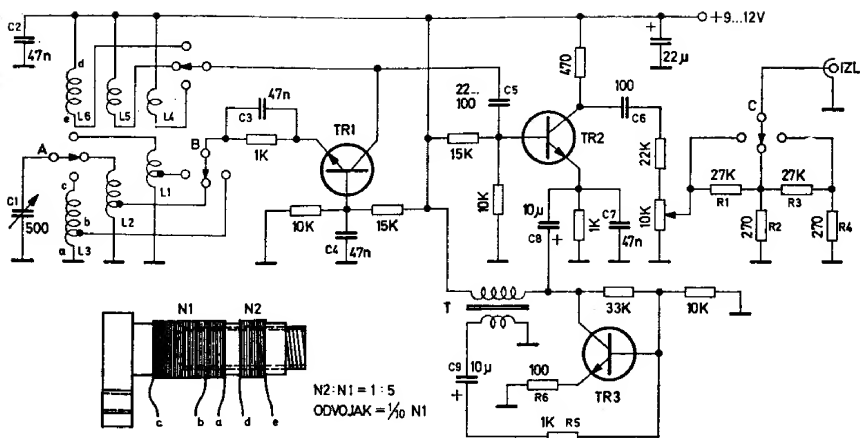
Servisni signal-generator za frekvencije između 200 kHz i 16 MHz

Servisni signal-generatori su izvori visokofrekventnih signala. Najčešće su modulirani amplitudno sa 400 do 800 Hz i služe za ugađanje radio-prijemnika kod popravaka i kod gradnje.

Mnogi amateri i tehničari sagradili su sami svoje signal-generatore. Jedan takav može se načiniti



Sl. 21-43. Shema niskofrekventnog generatora signala. Opis u tekstu



Sl. 2144. Signal-generator sa tri opsega, za kratki i srednji val, za međufrekvencije i dio dugog vala. Tko želi može na isti način dodati i druge visokofrekventne opsege. Vidi tekst

prema shemi na sl. 2144. Vanjski izgled servisnog signal-generatora vidi se na sl. 2145.

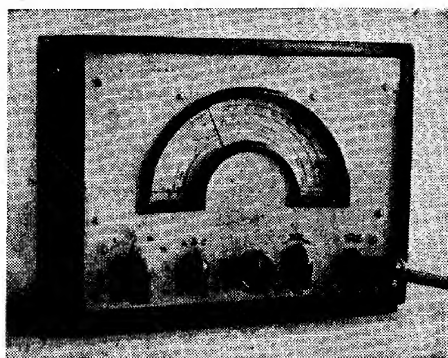
Upotrebljena su samo tri tranzistora. Sva tri mogu biti jednaki, npr. BC 107. Prvi tranzistor, TR_1 , je oscilator. Frekvencija mu se može mijenjati promjenljivim kondenzatorom C_1 . Maksimalni kapacitet može biti do 500 pF. Na shemi su nacrtane zavojnice za tri opsega:

kratki val 16 do 5 MHz; srednji val 1600 do 500 kHz i opseg običnih međufrekvencija 500 do 200 kHz. Ovaj posljednji opseg obuhvata i dio dugog vala. Razumije se da svaki graditelj može odabrati i drukčije opsege frekvencije za svoj signal-generator.

Opsezi su određeni zavojnicama u titrajnom krugu: L_1 , L_2 i L_3 . Paralelno zavojnicama je dobro staviti trimerske kondenzatore sa maksimalnim kapacitetom do 30 pF kojima se određuje najviša frekvencija na opsegu (nije nacrtano!).

Oscilacije se pobuđuju povratnom vezom koja je ostvarena zavojnicama L_4 , L_5 i L_6 . Raspored zavojnica na valjčastom tijelu (sa VF feromagnetskom jezgričom za ugađanje) nacrtan je uz shemu. N_1 je broj zavoja koji pripada jednoj od zavojnica u titrajnom krugu, dok je N_2 broj zavoja za povratnu vezu, pa njihov odnos mora biti približno: $N_2 = 1/3$ do $1/5 \times N_1$.

Zavojnice u titrajnom krugu imaju odvojak, približno kod 1/10 svog broja zavoja. Preko tog odvojka je titrajni krug u vezi sa emiterom tranzistora TR_1 . Njegova je



Sl. 2145. Vanjski izgled servisnog signal-generatora. Njegova izrada je amaterski ručni rad. Sprijeda se ističe velika polukružna skala sa ispisanim frekvencijama

Tablica 21-3. Približni podaci za namatanje zavojnica za signal-generator, prema sl. 21-44

Opseg frekvencije	N_1		N_2 na zavojnici	Napomena*)
	zavojnica	odvojak kod		
Kratki val, 16 do 5 MHz	$L_1 = 25$ zav.	2 zav.	$L_1 = 6$ do 8 zav.	Žica 0,4 mm CuL
Srednji val 1500 do 500 kHz	$L_2 = 110$ zav.	7 do 10 zav.	$L_2 = 15$ do 20 zav.	Žica 0,2 mm CuL
Međufrekvencije, 500 do 200 kHz	$L_3 = 260$ zav.	20 zav.	$L_3 = 30$ do 40 zav.	Žica 0,2 mm CuL

*) Za kratki val: tijelo promjera 5 mm, sa jezgricom za ugađanje, za ostale zavojnice: tijelo promjera 6 do 7 mm, sa jezgricom.

baza za visoke frekvencije uzemljena preko C_4 .

Modulacijsku nisku frekvenciju daje NF oscilator s tranzistorom TR_1 . Transformator T može biti neki minijaturni transformator iz niskofrekventnog pojačala malih tranzistorskih radio-prijemnika za srednji val. Tu će odgovarati onaj koji redovito služi kao niskofrekventni pobudni transformator. Uz malo eksperimentiranja oscilator će dobro raditi. Napominjemo da frekvencija ovisi o tome kamo smo uključili zavojnicu transformatora koja ima više, a kamo zavojnicu sa manje zavoja (i otpora!). Osim toga na frekvenciju utječe i serija kapaciteta C_7 i C_8 . Oni formiraju kapacitivni razdjelnik o kojemu također ovisi koliki će se NF napon dovesti na emiter tranzistora TR_1 .

Tranzistor TR_2 ima dvije zadaće. Jedna je da VF oscilator odijeli od izlaznih priključnica. Druga je da se u njemu visokofrekventni signal modulira. Modulirani VF signal, preko C_6 , odlazi u *atenuatorski sklop* otpornika R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . Ovdje se signal može oslabiti u tri stupnja preklopnikom C i postepeno mijenjati potenciometrom od 10 k Ω (latinski: »*tenuus*« = tanak, njezan, slabašan. *Atenuator* = oslabljivač).

Broj zavoja ovisi o opsegu frekvencija i o promjeru tijela za na-

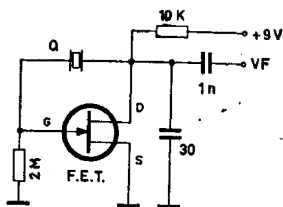
matanje, kao i o kvaliteti VF jezgri. Zato tablica 21-3 daje samo približne podatke. Ukoliko je maksimalni kapacitet promjenljivog kondenzatora manji od 500 pF trebat će povećati broj zavoja.

Generatori VF signala s kvarcovim kristalima

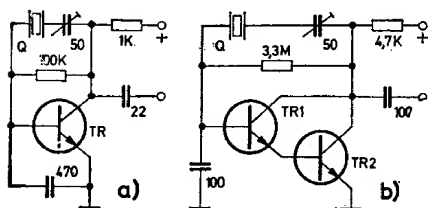
Kod radio-amatera se često nalazi po nekoliko kvarcovih kristala kojima se osnovna ili neka viša frekvencija može koristiti za ugađanje različitih uređaja. Potrebno je samo da takav kristal pobudimo u nekom, makar improviziranom, oscilatoru. Kao aktivni element oscilatora najbolje će i najjednostavnije poslužiti bilo koja vrsta tranzistora.

Takav kvarcov oscilator, osobito za kristale sa oznakom »FT-241-A«, za frekvencije između 100 i 150 kHz, pomoću FET-a je prikazan na sl. 21-46. Titrajnog kruga nema. Povratnu vezu osigurava kondenzator malog kapaciteta (30 pF) između drejn-elektrode (D) i surs-elektrode (S).

Sličan oscilator sa »običnim« N-P-N tranzistorima, sl. 21-47, također radi bez titrajnog kruga. Prema shemi, sl. 21-47a, oscilirat će



Sl. 21-46. Oscilator bez titrajnog kruga, sa FET-om i kvarcovim kristalom



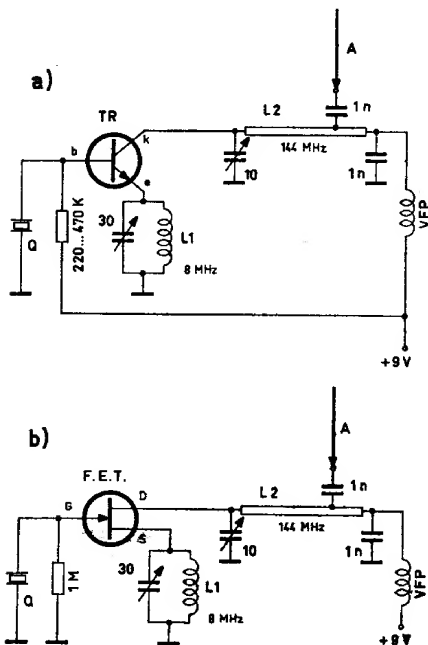
Sl. 21-47. Jednostavni kvarcovi oscilatori: a) sa jednim; b) sa dva bipolarna tranzistora u darlingtonskom spoju. Vidi tekst

gotovo svaki kristal. Oni kristali koji teže osciliraju bit će lakše pobuđeni u oscilatoru prema sl. 21-47b. Dva tranzistora u Darlingtonovom spoju imaju toliko veliko pojačanje da i najtromiji kristali dobro osciliraju, ako su samo ispravni. Da oscilacije budu najvećeg intenziteta bit će, možda, korisno malo promijeniti kapacitete kondenzatora koji su spojeni između emitera i baze (470, odnosno 100 pF).

U svakom se oscilatoru javljaju osim osnovne frekvencije još mnoge više harmonične. Njih se također može koristiti za ugađanje različitih prijemnika, pogotovo ako neku od tih frekvencija posebno »izvučemo« iz smjese. To se može ostvariti prema sl. 21-48. Titrajni krug sa zavojnicom L_1 može biti ugođen za osnovnu frekvenciju kristala, ali također na treći njegov overtone. Ako je kristal sa osnovnom frekvencijom od 8 MHz, to će biti 24 MHz.

Jednako uspješno se oscilacije pobuđuju i bipolarnim tranzistorom (sl. 21-48a) i unipolarnim (sl. 21-48b). Ako takvom oscilatoru dodamo u izlaznom strujnom krugu resonator L_2 , ugođen na 144 MHz, moći ćemo — preko male pomoćne antene — dobiti dvoimetarski signal za ugađanje prijemnika. Neki su amateri upotrebili kristal Q od 48 MHz, izlazni titrajni krug (sa L_2) ugodili na 432 MHz i postigli upotrebljiv signal u 70-centimetarskom opsegu! Antena A emitira vrlo slab signal, ali dovoljan za ugađanje. Dugačka je 10 do 15 cm.

Razumije se, da u slične svrhe mogu poslužiti i različiti drugi oscilatori, opisani u poglavlju o VF oscilatorima (8).



Sl. 21-48. Signal-generator za 144 MHz s kvarcovim kristalom: a) sa N-P-N tranzistorom; b) sa FET-om. Frekvencija kristala treba biti 8 MHz (8000 do 8110 kHz). Opis u tekstu

STANDARDNE FREKVENCIJE

Radio-stanice sa standardnim frekvencijama

Frekvencija kojom oscilira neki kvarcov kristal ovisna je i o samom sklopu oscilatora. Ona može biti više ili manje različita od vrijednosti koja je napisana na držaču kristala. Ako želimo da nam, npr. kvarcov kristal kojemu je osnovna frekvencija 100 kHz stvarno oscilira na toj frekvenciji, potrebno je imati mogućnost da se frekvencija oscilatora uporedi sa nekim *standardom* i da se frekvencija vlastitog oscilatora *izjednači* sa standardnom frekvencijom.

Ima priličan broj radio-stanica koje emitiraju standardne frekvencije, ali se kod nas čuje samo nekoliko njih. Kao standard frekvencije vrijede i val nosilac i frekvencije kojima je moduliran. Uglavnom razlikujemo dvije grupe takvih stanica. Prvu grupu čine radio-stanice koje rade u dugovalnom području između 16 i 200 kHz. U drugu grupu spadaju kratkovalne stanice. Najvažnije takve radio-stanice opisane su na tablici 21.4.

Od *dugovalnih* je osobito pogodna radiofonijska stanica Droitwich u Velikoj Britaniji. Njen val nosilac ima frekvenciju od 200 kHz vrlo velike preciznosti. Čuje se na svakom radio-prijemniku koji ima dugovalno područje. Prijem nije sasvim bez smetnji jer na istoj frekvenciji rade još dvije radiofonijske stanice: Lenjingrad i Moskva. One »dolaze« slabije. Budući da im se frekvencije nešto razlikuju, intenzitet prijema »trepće« pa treba odabrati momente kad su ti treptaji najsporiji ili — što je rjeđi slučaj — kad ih se ne opaža. Uspješniji je prijem sa onim radio-aparatima koji imaju ugrađenu feritnu antenu. Ona se može okrenuti tako da opisane smetnje budu najmanje.

Od *kratkovalnih* radio-stanica koje emitiraju standardne frekven-

cije gotovo svi radio-amaterski priručnici spominju WWV (Fort Collins, Colorado, SAD), ali signali su kod nas nejednolične jakosti, često ih se uopće ne može čuti, ovisno o prilikama koje uvjetuju širenje kratkih valova na tako velike daljine. Bolje je osloniti se na emisije evropskih stanica, osobito onih koje su, kao HBN (Neuchâtel, Švicarska) i MSF (Rugby, Velika Britanija) trajno u pogonu. Pregled emisija i radnog vremena za glavne kratkovalne stanice, koje se kod nas stalno ili povremeno čuju, donosimo na sl. 21.49.

Sekundarni standardi frekvencije

Ako neki kvarcov oscilator, npr. onaj za 100 kHz na sl. 21.46, što preciznije dovedemo na standardnu frekvenciju neke od navedenih radio-stanica, imamo svoj *sekundarni* standard. Pri tome možemo frekvenciju sekundarnog standarda uporediti bilo izravno, sa jednakom frekvencijom odabrane radio-stanice (npr. sa RWM/RES, Moskva, SSSR, na 100 kHz) ili jednu od harmoničkih frekvencija svog oscilatora sa višom frekvencijom jedne od dugovalnih ili kratkovalnih radio-stanica (tablica 21.4 i sl. 21.49). Ovo drugo je znatno preciznije budući da kod viših frekvencija jednako velika apsolutna razlika frekvencije postaje procentualno manja!

Iako već i sasvim jednostavan kvarcov oscilator može poslužiti kao sekundarni standard, dva primjera koja slijede pružaju veće radne mogućnosti.

Savremeni komunikacijski prijemnici imaju vrlo često mogućnost kontrole svoje skale prijemom standardnih frekvencija, obično 10 MHz ili 15 MHz. Postoji prilično rasprostranjeno mišljenje da današnji primopredajnici sa *ugrađenim digitalnim pokazivačem* (»displayem«) frekvencije već sami po sebi predstavljaju neku vrstu »nepogrešivog« standarda, jer da im je

Tablica 21-4. Pregled radio-stanica koje služe kao standardi frekvencije

A) Dugovalne radio-stanice:

Pozivni znak	Mjesto	Zemlja	Frekvencija (kHz)
GBR	Rugby	V. Britanija	16
NAA	Cutler, Maine	SAD	17,8
WWVL	Ft. Collins, Colorado	SAD	20
NSS	Anapolis, Maryland	SAD	21,4
OMA	Poděbrady	ČSSR	50
MSF	Rugby	V. Britanija	60
WWVB	Ft. Collins, Colorado	SAD	60
HBG	Prangins	Švicarska	75
DCF-77	Mainflingen	SR. Njemač.	77,5
RES	Moskva	SSSR	66 100
—	Droitwich (BBC)	V. Britanija	200

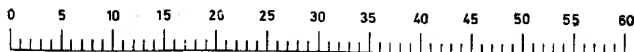
B) Kratkovalne radio-stanice (vidi i sl. 21-49)

Pozivni znak	Mjesto	Zemlja	Frekvencija (MHz)
FFH	Paris	Francuska	2,5
OMA	Praha-Poděbrady	ČSSR	2,5
HBN	Neuchâtel	Švicarska	5
IAM	Roma	Italija	5
IBF	Torino	Italija	5
MSF	Rugby	V. Britanija	2,5 5 10
RAT/RWM	Moskva	SSSR	2,5 5 10 15
WWV	Ft. Collins, Colorado	SAD	2,5 5 10 15 20 25

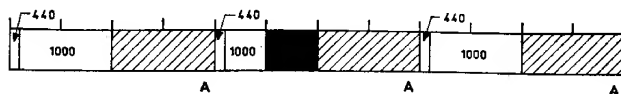
frekvencija »*baš ta i takva*«. To je tako, ali *samo uvjetno!* Ugrađeni kvarcovi kristali postoje i u primopredajnicima kojima je radna frekvencija određena »sintesajzerom« (vidi poglavlje 8). Pouzdanost

frekvencije nije bolja od kvarcovog oscilatora, a taj može griješiti! Zato i takvi uređaji imaju mogućnost da se i njihova digitalna skala uporedi sa signalom standardne frekvencije. Konačno, i ta

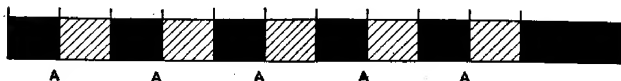
MINUTE SVAKOG SATA
DOK TRAJE EMISIJA:



FFH (PARIS, FRANCUSKA)



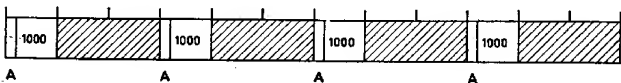
HBN (NEUCHÂTEL, ŠVIC.)



MSF (RUGBY, V. BRITANIJA)



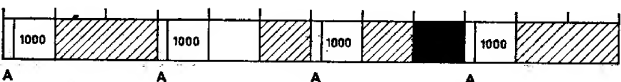
IAM (ROMA, ITALIJA)



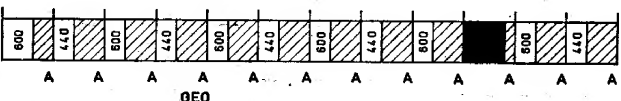
IBF (TORINO, ITALIJA)



OMA (PRAHA, ČSSR)



WWV (COLORADO, SAD)



VAL NOSILAC
BEZ MODULACIJE

IMPULSI
OD 1 Hz

1000 MODULACIJA OZNAČENOM
FREKVENCIJOM

NEMA
EMISIJE

Sl. 21-49. Pregled rada specijalnih kratkovalnih radio-stanica za emisiju standardnih frekvencija. Vidi tablicu 21-4 i tekst

digitalna skala je ipak samo jedna vrsta skale za čitanje frekvencije i ne treba je smatrati »apsolutno« ispravnom i bez mogućnosti griješanja.

Neki primopredajnici imaju mogućnost, pristupačnu operatoru, da poprave frekvenciju svog uređaja i

da tako dovedu »u red« pokazivanje na skali. Ako takve, pristupačne mogućnosti nema, ne bi operator trebao dirati oscilatore u tvornički proizvedenim uređajima. Dakako, osim ako nije sasvim siguran u to što treba načiniti. Inače bi šteta mogla biti veća od očekivane koristi!

trične energije. Upotrebljen je *šesterostruki inverter (4049-B) dekadski djelitelj frekvencije (4018-B) i dvostruki bistabil (4027-B)*. Sve zajedno, uz pogonski napon od 4 do 4,5 V, troši samo 1,5 do 2 mA struje!

Prvi inverter (*I*) radi kao kristalni oscilator u vrlo jednostavnom sklopu. Trimerskim kondenzatorom (30 pF) može se frekvencija dovesti vrlo tačno na vrijednost 1000,000 kHz, upoređujući jednu od brojnih izlaznih frekvencija sa nekom od radio-stanica koje emitiraju standardne frekvencije. Drugi inverter (*II*) djeluje kao stupanj za odvajanje. U njemu se donекle formira i pojačava signal iz oscilatora. Sa njegovog se izlaza signal dalje vodi u dekadski djelitelj (*I.S.2*) i na dvostruki preklopnik sa 7 položaja.

Iz dekadskog djelitelja izlazi frekvencija koja je 10 puta niža: 100 kHz. I ona odlazi na spomenuti preklopnik. Preko kontakta *g* možemo, prema potrebi, u dvostruki bistabil (*I.S.3-A* i *I.S.3-B*) odvesti ili frekvenciju 1000 kHz ili frekvenciju 100 kHz. Dvostruki bistabil ove frekvencije dijeli naprije sa dva a onda još sa dva. Tako se dolazi do dva i četiri puta nižih frekvencija: 500, 250, te 50 i 25 kHz. Dvostrukim preklopnikom možemo od ovih, tako dobivenih šest frekvencija odabrati jednu i nju (preko kontakta *h*) i diode *D₁* odvesti u treći inverter (*III*). Na njegovom je izlazu potencijometar od 100 kΩ za regulaciju amplitude signala koji se predaje izlaznom stupnju. Kao izlazni stupanj u klasi *A* radi šesti inverter (*VI*). Izlazna koaksijalna priključnica (*VF*), preko kondenzatora od 1 nF, preuzima taj signal. Otuda ga možemo koaksijalnim, oklopljenim kabelom odvesti u prijemnik, na antensku priključnicu.

Unatoč oklapanju, u prijemniku se zajedno sa ovim signalima mogu čuti i drugi, osobiti ako je i an-

tena istovremeno priključena na prijemnik. Signale je teško razlikovati jedan od drugoga. Zato smo nastojali da naše signale nekako »označimo«, da bismo ih mogli lako prepoznati. Tome služe preostala dva invertera (*IV* i *V*). Oni, sa pripadajućim pasivnim komponentama, čine oscilator kojemu se frekvencija može mijenjati između 2 Hz i približno 500 Hz jednostavnim okretanjem potencijometra (0,5 MΩ). Ako odaberemo vrlo nisku frekvenciju, 2 do 5 Hz, dobili smo signal četvrtastog oblika, kojim, preko diode *D₂*, možemo utjecati na rad stupnja sa inverterom *III*. Svaki put kad je na izlazu oscilatora ove spore frekvencije nisko stanje, visokofrekventni signal nesmetano prolazi kroz inverter *III*. Kad se stanje promijeni u visoko, bit će ulaz invertera *III* također »visoko« i VF signal ne može proći tako dugo dok spori oscilator na svom izlazu ne bude ponovno u niskom stanju. Inverter *III* se ovom vrlo niskom frekvencijom otvara i zatvara, propuštajući visokofrekventne signale samo na mahove. U prijemniku se čuje »ta-ta-ta...« što je lako prepoznati u bilo kakvoj smjesi signala. Razumije se da za sasvim tačna mjerenja frekvencije treba trajan signal. To se postiže prekidačem *Pr.₂* kojim se može prekinuti rad sporog oscilatora.

Ako potencijometrom (0,5 MΩ) postignemo tonsku frekvenciju (do 500 Hz), izlazni signal je njome moduliran. Signal je vrlo širok ali se u pojedinim slučajevima, barem kao »prva faza«, može koristiti.

Dvostruki preklopnik ima 7 položaja. Budući da je prekidač *Pr.₁* u vezi sa osovinom tog preklopnika, može se postići da u sedmom položaju prekidač *Pr.₁* bude otvoren, struja napajanja prekinuta i uređaj isključen.

Princip brojača (brojila) frekvencije je u 5. poglavlju.

GENERATORI ŠUMA

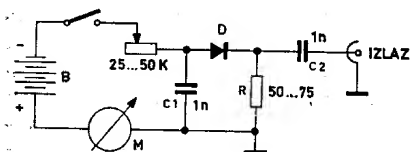
Generator šuma s diodom

Generator šuma je sprava koja služi za proizvodnju one vrste šuma koji je jednolično raspoređen u širem opsegu frekvencija i kojemu se intenzitet može po volji mijenjati.

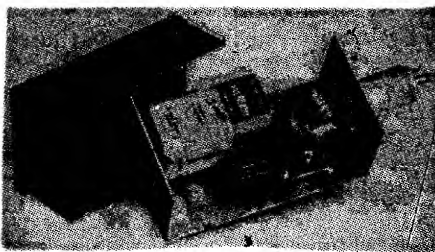
Najjednostavniji generator šuma (sl. 21-52) upotrebljava kristalnu diodu kroz koju se struja šalje u zapornom smjeru. Od dioda preporučuju tzv. »radarske« silicijeve diode 1N21 i 1N23. Njih je teže nabaviti pa zato mnogi upotrebljavaju germanijeve diode. Kod navedenih silicijevih dioda šum raste sa povećanjem jakosti struje, dok kod nekih germanijevih dioda to nije uvijek tako. Ipak, ako nemamo druge, uzmimo neku germanijevu diodu koja ima malen zaporni napon. Ako netko još ima prvu domaću kristalnu diodu KD 35 može upotrebiti nju. To je razmjerno loša silicijeva dioda koja je upravo zato pogodna za generator šuma.

Iz baterije *B* (6 do 9 V) teče električna struja kroz potenciometar, zatim kroz diodu *D*, pa kroz otpornik *R* i konačno kroz mjerni instrument *M* (5 mA). Ovaj posljednji možemo i ispustiti, ako se zadovoljimo bilo kakvom skalom na dugmetu potenciometra.

Otpornik *R* mora biti neinduktivan. Njegova veličina se ravna prema ulaznoj impedanciji prijemnika koji ćemo ispitivati, obično 50 Ω. Na izlazu je koaksijalna prik-



Sl. 21-52. Generator šuma s kristalnom diodom za ugađanje UKV prijemnika. Opis u tekstu.



Sl. 21-53. Pogled u unutrašnjost generatora šuma s kristalnom diodom. Baterija za napon od 6 ili 9 V je u istoj kutiji

ljučnica na koju treba spojiti prijemnik preko komada koaksijalnog kabela. Unutrašnjost takvog generatora šuma vidimo na sl. 21-53.

Upotreba generatora šuma

Iako ovakav generator šuma s diodom ne možemo upotrebiti za mjerenje »apsolutne« vrijednosti, poslužit će nam ipak kao sasvim dobro pomoćno sredstvo za pronalaženje najpovoljnijih uvjeta za vezu između antene i visokofrekventnog pojačala u prijemnicima, sa ciljem da postignemo najbolje prilagođenje uz minimalni šum.

U tu svrhu ćemo paralelno sa slušalicama ili sa zvučnikom spojiti neki voltmetar za izmjenične napone. Generator šuma ćemo priključiti umjesto antene na ulaz prijemnika. Dok generator šuma nije uključen, voltmetar će pokazivati neki otklon koji potječe od šuma samog prijemnika. Uz maksimalnu osjetljivost prijemnika možemo, pomoću potenciometra za regulaciju glasnoće, postići da kazaljka voltmetra pokazuje neki cijeli broj u prvoj trećini skale. Ako sada uključimo generator šuma, poveća se otklon kazaljke voltmetra. Mijenjajući jakost struje koja teče kroz diodu generatora šuma, treba postići da otklon kazaljke bude, npr. dvostruk.

Uz pretpostavku da su svi titrajni krugovi prijemnika već ranije bili ugođeni kako treba, promijenimo malo vezu između antene i prvog titrajnog kruga. Kod tranzistorских i cijevnih VF pojačala bit će također potrebno mijenjati odvojak na zavojnici, ako ga ima.

Kad smo dakle jedno od toga malo promijenili, ponovno uključimo generator šuma koji u međuvremenu nismo dirali. Šum na izlazu prijemnika će biti ili jači ili slabiji. Ako se šum pojačao dok je jakost struje koja teče kroz diodu u generatoru ostala nepromijenjena, znak je da je šum u prijemniku postao jači.

Mijenjajući tako malo-pomalo vezu sa antenom i tražeći zatim, također malo-pomalo, najpovoljniju vezu sa prvom cijevi ili s prvim tranzistorom, treba kod uključivanja generatora, postići jednako pojačanje šuma uz što slabiju struju kroz diodu D (sl. 21-52). Tada je osjetljivost prijemnika najveća. Ujedno će i odnos signala prema šumu za konkretan prijemnik biti najbolji.

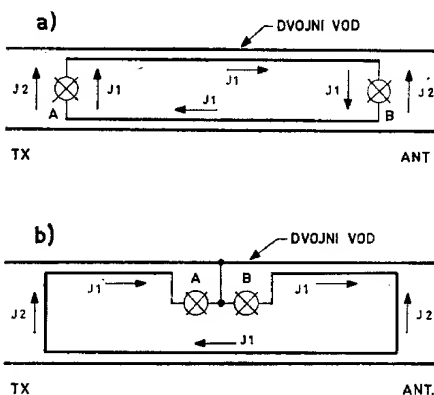
Uspjeh takvog ugađanja ulaznog stupnja najbolje se opaža kod UKV prijemnika. Zato bi svaki graditelj UKV prijemnika morao u svojoj radionici imati barem ovakav generator šuma.

REFLEKTOSKOPI I SWR-METRI

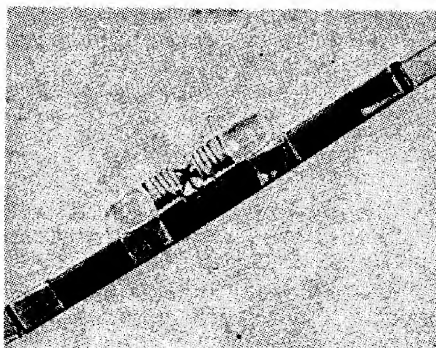
Reflektoskopi sa žaruljicama

Ako antenski vod nije pravilno opterećen otporom zračenja antene, na njegovom kraju će se visokofrekventni val više ili manje reflektirati. Na vodu nastaju stojni valovi koji uvjetuju nejednoličnu raspodjelu jakosti VF struje i VF napona i povećaju gubitke, kako je to objašnjeno u poglavlju o antenama. Uređaji koji pokazuju prisutnost stojnih valova na antenskom vodu su *reflektoskopi*.

Najjednostavniji reflektoskop sastoji se od dvije male žaruljice, A i B , i komada dvojnog antenskog voda (sl. 21-54a). Ovaj komad plosnatog dvojnog voda, zajedno sa žaruljicama, stavlja se tijesno uz dvojni vod kojim se napaja antena. Djelovanjem visokofrekventnog magnetskog polja inducira se struja J_1 , koja teče u krugu. Visokofrekventno električno polje uzrok je pojavi struje J_2 koja kod A teče istim, kod B suprotnim smjerom od struje J_1 . Zato se ove struje kod



Sl. 21-54. Žaruljice (male sijalice) kao indikatori stojnih valova na plosnatom dvojni vod. Vidi tekst



Sl. 21-55. Jednostavan reflektoskop sa žaruljicama, prema sl. 21-54b, učvršćen »selotejpom« na plosnati antenski dvojni vod

A pojačavaju a kod B oslabljuju. Ako refleksije nema ili je samo vrlo slaba, svijetli žaruljica A koja je bliže predajniku. Žaruljica B ostaje tamna. Ako i žaruljica B svijetli, znak je da na antenskomvodu ima stojnih valova uslijed refleksije na anteni.

Slično se događa i kod reflektoskopa prema sl. 21-54b. Ako nema refleksije žaruljica A svijetli, dok žaruljica B ostaje tamna, kao u predašnjem primjeru. Praktičnu izvedbu takvog reflektoskopa vidimo na sl. 21-55. Dužina onog komada dvojnog voda koji pripada reflektoskopu ovisi o snazi i radnoj frekvenciji predajnika, što treba odrediti pokusom. Dužina od 10 do 15 cm će biti dovoljna kod UKV predajnika većih snaga. Za kratkovalne predajnike manjih snaga trebalo bi dužina od 25 do 50 cm.

Razumije se, takvi reflektoskopi mogu se primijeniti samo onda ako za vezu predajnika sa antenom služi plosnati dvojni vod. Za koaksijalne kabele je najbolje upotrijebiti tzv. SWR-metar.

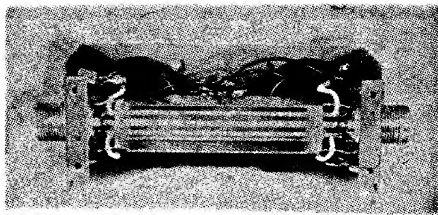
Princip SWR-metra

SWR-metar je sprava za mjerenje tzv. odnosa stojnih valova u koaksijalnim antenskim vodovima. Nazivaju ih i reflektometrima jer se iz veličine odnosa stojnih valova može zaključiti o vrijednosti koeficijenta refleksije. Za koeficijent refleksije K vrijedi:

$$SWR = \frac{1 + K}{1 - K}$$

Nekoliko vrijednosti koeficijenta refleksije, izraženih u procentima nalaze se na tablici 21-5.

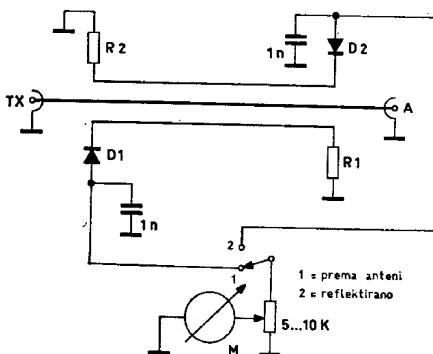
Unutrašnjost reflektometra, odnosno SWR-metra, vidi se na sl. 21-56. Njegova shema je na sl. 21-57. Između koaksijalnih priključnica TX i A je vodič veće debljine. Uz njega, na suprotnim stranama, postavljene su paralelno s njim dvije žice. U njima će se slično ono-



Sl. 21-56. Unutrašnji izgled SWR-metra

me na sl. 21-54, djelovanjem visokofrekventnog magnetskog polja i visokofrekventnog električnog polja inducirati struje koje se na onom kraju koji je bliže predajniku međusobno pojačavaju, a na kraju koji je bliže anteni međusobno oslabljuju. Ako nema stojnih valova, jakost VF struje u paralelnim žicama je bliže predajniku najjača, dok je bliže anteni jednaka nuli. Zato je dioda D_1 koja omogućuje pokazivanje »onog što odlazi prema anteni« bliže priključnici TX. Dioda D_2 omogućuje pokazivanje »onoga što se reflektira« i nalazi se bliže priključnici A.

Ispravljenu jakost struje u oba slučaja pokazuje mjerni instrument M kojemu je skala baždarena u vrijednostima SWR ili u procentualnim vrijednostima reflektirane



Sl. 21-57. Shema jednostavnog SWR-metra. Nazivaju ga i reflektometrom. Opis u tekstu

Tablica 21-5. SWR, koeficijent refleksije i reflektirana snaga

Odnos stojnih valova, SWR:	Koeficijent refleksije (%)	Reflektirana snaga (%)
1:1	0	0
1:1,5	20	4
1:2	33	11
1:3	50	25
1:5	67	45
1:9	80	64
1:∞	100	100

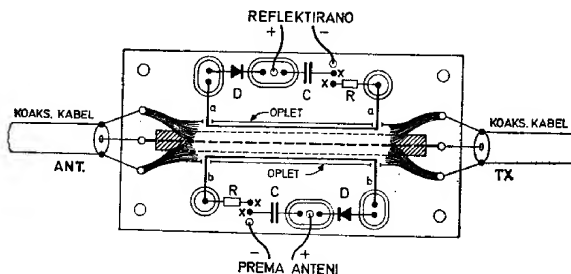
snage. Neki instrumenti imaju obje skale. Osjetljivost se regulira ugrađenim potencijetrom. Da na dodatnim paralelnim žicama ne bi dolazilo do stvaranja stojnih valova, potrebni su otpornici R_1 i R_2 . Njihov otpor ovisi o karakterističnom otporu koaksijalnog kabela. Za 50-omske kabele R_1 i R_2 imaju svaki po 150 Ω , dok za 75-omske kabele obično imaju po 100 Ω .

SWR-metri za samogradnju

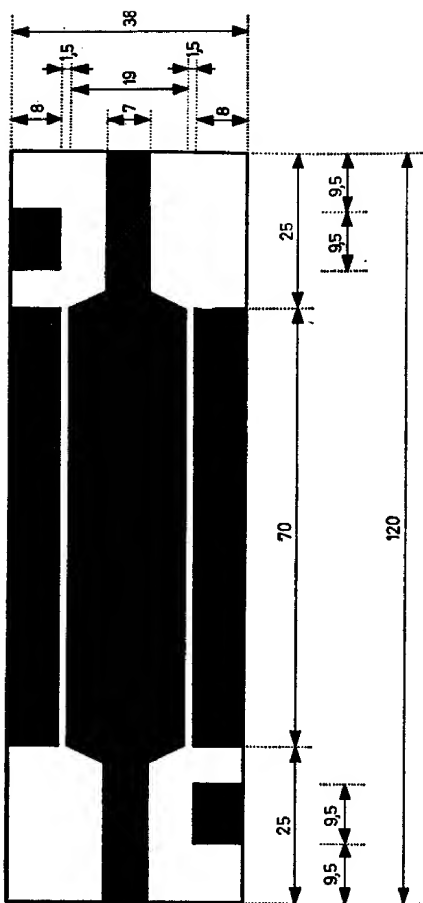
SWR-metar se može načiniti i iz komada koaksijalnog kabela. To neka bude isti koaksijalni kabel s kakvim se spaja radio-uređaj sa antenom. Dovoljan je komad od 15 do 20 cm dužine za kratke, odnosno

8 do 10 cm za ultrakratke valove. Za veću snagu potrebna je manja dužina.

Sa odabranog komada kabela treba najprije skinuti zaštitnu navlaku iz PVC. Zatim se mora metalni oplet na oba kraja rasplesti i ispod opleta provući dvije žice, a i b (sl. 21-58). Dužine tih žica ispod opleta neka budu, koliko je moguće, jednake. Iza toga se, na oba kraja, raspleteni oplet razdijeli u dva snopove. Te snopove treba usukati da se sa oba kraja dobiju po dva »brka«, vidi sliku. Tu se također vidi kako su, antenski kabel i onaj koji se spaja na predajnik (TX), spojeni na SWR-metar. Da to bude SWR-metar treba dodati dva otpornika, dvije diode i dva kondenzatora (po 1 nF do 10 nF). Spa-



Sl. 21-58. Reflektometar ili SWR-metar za samogradnju, načinjen od komada koaksijalnog kabela. Vidi tekst



Sl. 21-59. Štampana pločica za izradu SWR-metra. Crne površine predstavljaju ostatke bakra. Dimenzije su u milimetrima

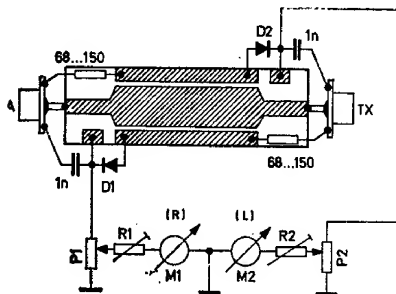
janje SWR-metra sa potenciometrom i mjernim instrumentom ne razlikuje se od onoga na sl. 21-57.

Iako je opisana »obrada« koma da koaksijalnog kabla posao koji sasvim dobro uspijeva, neki to ne vole. Za njih objavljujemo crtež na sl. 21-59. Na bakrom kaširanoj pločici od vitroplasta ostaju bakrena polja koja su na slici crna. Pločica je 120 mm dugačka i 38 mm široka. Kad smo je pripremili, na

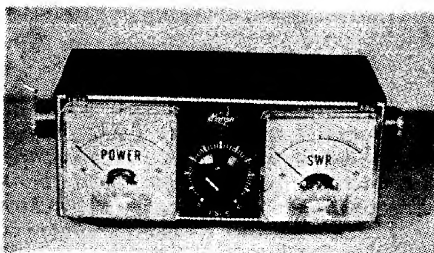
nju ćemo montirati ono nekoliko potrebnih elemenata, prema sl. 21-60, ali tako da su svi spojevi što kraći. Otpornici, diode i kondenzatori su na samoj pločici! Na istoj slici je nacrtana i shema uz pretpostavku da ćemo upotrebiti dva mjerna instrumenta, kao na sl. 21-61, sa dvostrukim potenciometrom. Tko želi, može upotrebiti i samo jedan mjerni instrument na ranije pokazani način.

Kod svih SWR-metara ove vrste otklon kazaljke je *ovisan o frekvenciji* pa se potenciometrom za regulaciju osjetljivosti instrumenta mora, *za svaki opseg frekvencije*, ponovo odabrati odgovarajuća vrijednost.

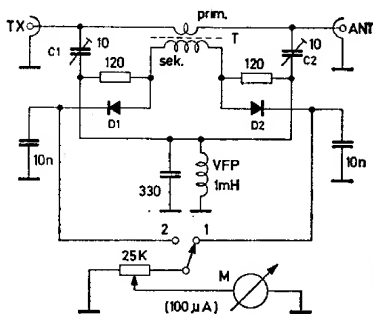
SWR-metar kojemu pokazivanje *ne ovisi o frekvenciji* mora se graditi na drukčiji način. Shema takvog instrumenta, za manje snage predajnika, je na sl. 21-62. Visokofrekventni transformator *T* je namotan na maloj feritnoj, prstenastoj jezgri. Primarni namotaj se sastoji od jednog jedinog zavoja. Sekundarni ih ima 20 do 30 zavoja jednolično raspoređenih na 3/4 prstena. Onaj jedini zavoj primarne »zavojnice« dolazi usred posljed-



Sl. 21-60. SWR-metar sa pločicom, prema sl. 21-59. P_1 i P_2 je dvostruki potenciometar, R_1 i R_2 otpornici za regulaciju i izjednačenje osjetljivosti mjernih instrumenata M_1 i M_2 . Prvi pokazuje SWR (»refleksiju«, R), dok drugi mora istovremeno pokazivati puni otklon (ono što odlazi u antenski vod, »liniju«, L)



Sl. 21-61. Vanjski izgled SWR-metra tvorničke proizvodnje



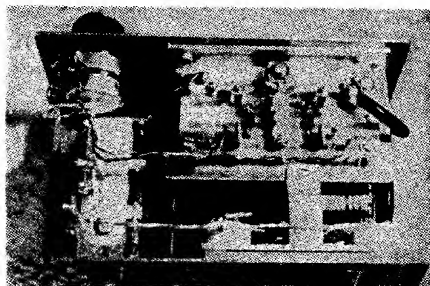
Sl. 21-62. SWR-metar kojemu je pokazivanje neovisno o frekvenciji. Može biti baždaren i u vatima snage. Vidi tekst

nje četvrtine prostora na prstenu. Konstrukcija ovog transformatora odgovara, u tehnici poznatim, *strujnim mjernim transformatorima*.

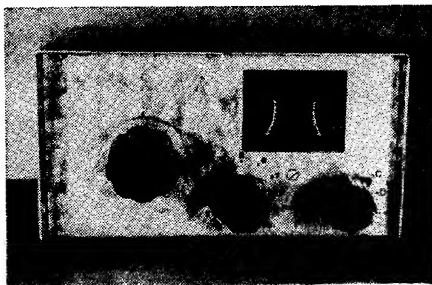
Sekundarna strana mjernog transformatora (*T*) opterećena je s dva otpornika. Oni je prigušuju toliko da se ne može primjetiti nikakva resonancija. Oba otpornika moraju biti međusobno jednakih vrijednosti. Dvije diode, obično su to germanijeve, ispravljaju VF napon. Kad je $SWR = 1$, kad u antenskom kabelu nema stojnih valova, na jednoj će se strani VF napon koji dolazi od transformatora *T* i onaj koji je uvjetovan kapacitetom trimera (10 pF, maks.) zbrajati, a na drugoj strani će se poništavati. U položaju 1 preklopnika instrument *M* će pokazivati »nulu« (što odgovara »jedinici« za

SWR), a u položaju 2 pokazivat će otklon, ovisan o položaju klizača na potenciometru (25 kΩ), ali također ovisno o snazi VF signala. Tako se skala može baždariti i u vatima snage, ako to želimo. Onda se i »refleksija« čita u vatima na istoj skali!

Pogled na takav SWR-metar omogućuje nam sl. 21-63. On je straga, desno od dvostrukog potenciometra. SWR-metar je ovdje ugrađen u antenski prilagođivač, prema sl. 19-28 (u poglavlju o antenama). Prednju stranu tog uređaja vidimo na sl. 21-64. Dugme potenciometra je na stražnjoj strani jer ga ne treba dirati, ako je jedanput pravilno postavljeno. Na



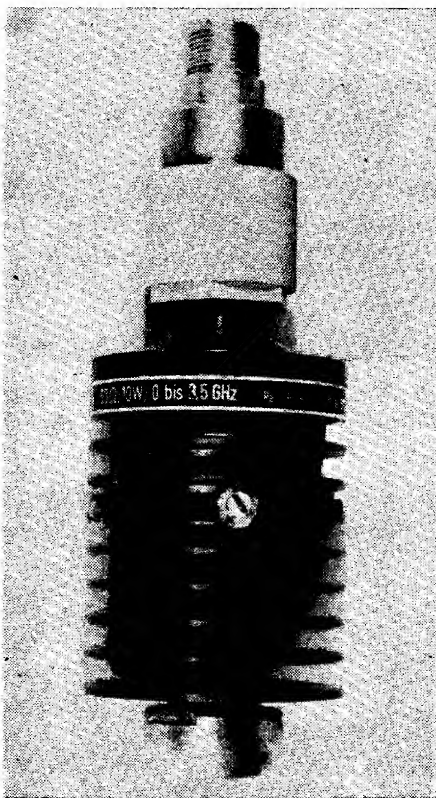
Sl. 21-63. Pogled na SWR-metar prema sl. 21-62. On je ugrađen u antenski prilagođivač



Sl. 21-64. Antenski prilagođivač sa ugrađenim SWR-metrom. Ugađanje prilagođivača je veoma oiaškano ugradnjom instrumenta sa dvije kazaljke. Vidi tekst

prednjoj su strani tri dugmeta. Ono sa skalom služi za okretanje promjenljivog kondenzatora (3×500 pF). Drugo dugme je od jedanaestopolnog preklopnika, dok treće pripada preklopniku kojim se promjenljivi kondenzator spaja ili na ulaznu ili na izlaznu koaksijalnu priključnicu. Mjerni instrument ima dvije kazaljke i namijenjen je da bude dvojni »stereo-VU-metar«. Ima i dvije skale, L i R, baždarene u »VU« (engl. »Volume Units«, tj. u »decibelima«). Skale su ostavljene, a instrument je spojen tako da skala »L« vrijedi za snagu koja »ide« u antensku »liniju«, dok ona

»R« znači »refleksiju«. Pravilno opterećenje predajnika je postignuto kad kazaljka na skali »L« pokaže maksimum uz istovremenu »nulu« na skali »R«, što se može vrlo lijepo postići na svim frekvencijama kratkovalnih opsega. *Pokazivanje instrumenta je neovisno o frekvenciji.* Otklon kazaljke »L« je nešto manji za vrijeme rada na 10-metarskom opsegu nego na 80-metarskom. To dolazi otuda što je izlazna snaga na 10-metarskom opsegu redovito nešto manja nego na nižim frekvencijama. Koliko manja? Instrument nas može i o tome dobro informirati!



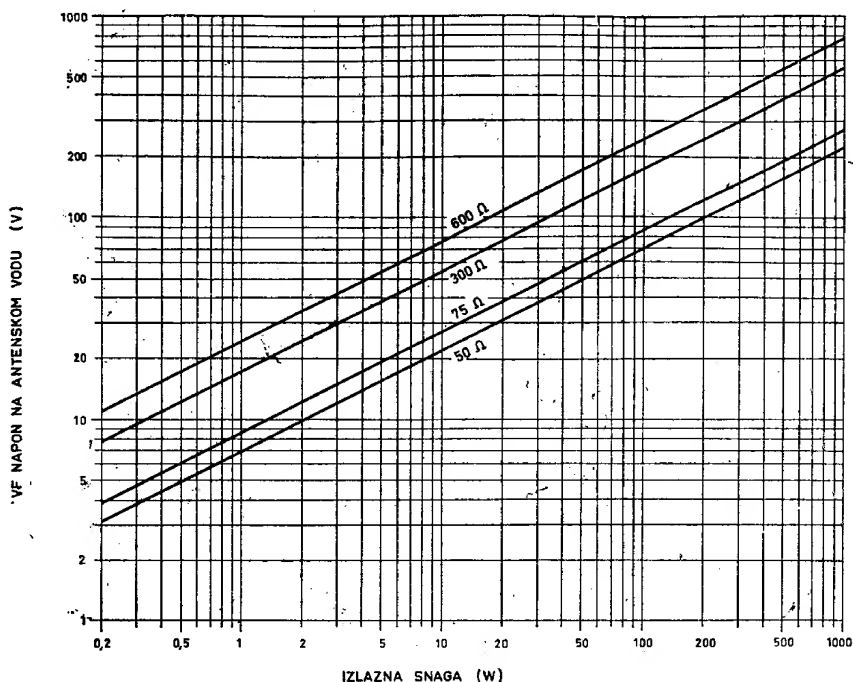
Sl. 21-65. *Opteretni otpornik, »lažna antena« (umjetna, veštačka) za opterećenje do 10 W i za frekvencije do 3,5 GHz («Siemens»)*

MJERENJE IZLAZNE SNAGE DAVAČA

Pravilno opterećenje davača pri mjerenju

Uz uvjet da je odnos stojnih valova na antenskomvodu $SWR = 1 : 1$, napon je posvuda isti. Taj visokofrekventni napon ovisan je o karakterističnom otporu antenskog voda i o izlaznoj snazi davača. Ovo pokazuje i dijagram na sl. 21-66. Za četiri različite vrijednosti karakterističnog otpora nacrtana su četiri pravca pomoću kojih se mogu odrediti visine napona za snage između 0,2 i 1000 W.

Jednako visok napon je i na antenskim priključnicama. U principu bismo mogli mjereći taj VF napon odrediti veličinu izlazne snage. To međutim nije dopušteno, jer bi davač za vrijeme mjerenja morao ostati spojen sa antenom, što bi smetalo ostalim stanicama. Osim toga nije lako postići SWR koji bi uvijek bio idealno jednak jedinici. Antenski sistem treba dakle zamijeniti uređajem koji ne emitira radio-valove u prostor, koji svu dovedenu energiju pretvara u toplinu i koji pri tome ima otpor jednak karakterističnom otporu kabela kojim se inače VF energija vodi do antene. Ovim zahtjevima zadovoljava sprava za neinduktivno termo-



Sl. 21-66. Dijagram koji pokazuje vrijednost visokofrekventnog napona u ovisnosti o izlaznoj snazi (OUTPUT) predajnika i o karakterističnom otporu antenskog voda uz uvjet da je odnos stojnih valova (SWR) jednak jedinici

geno opterećenje, poznata pod imenom *lažna antena* («Dummy Load»). Neki je nazivaju i »umjetnom« ili »veštačkom« antenom, ali — čini nam se — da ime »lažna antena« bolje označuje namjenu te sprave.

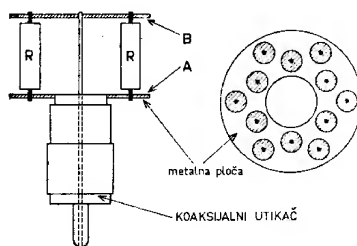
Ima gotovih lažnih antena, često odmah sa VF voltmetrom. Ovaj je onda baždaren u vatima snage koja se može direktno pročitati na skali instrumenta.

Dobre sprave takve vrste (sl. 21-65) prilično su skupe. Zato će mnogi radio-amater radije sam načiniti svoju lažnu antenu.

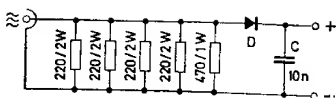
»Lažna antena« za samogradnju

Lažnu antenu dobrih svojstava možemo načiniti prema sl. 21-67. Na koaksijalni utikač zalemit ćemo

metalnu ploču A koja svojim centralnim izrezom pristaje na kraj utikača. Metalna ploča B svojim se središtem spaja sa srednjim kontaktom utikača, dok između ploča A i B moramo zalemiti veći broj jednakih otpornika.



Sl. 21-67. Lažnu antenu koju možemo sami načiniti



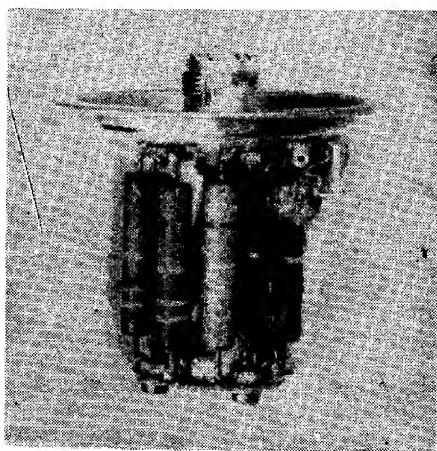
Sl. 21-68. Shema lažne antene s paralelno spojenim otpornicima i ispravljačem koji nabija kondenzator. Može poslužiti za mjerenje vršne vrijednosti VF napona (PEP)

Otpornici R moraju biti neinuktivni, grafitni. Oni koji su načinjeni od otporne žice, ne valjaju za ovu svrhu. Na crtežu se vidi kako treba rasporediti 12 otpornika. Ako svaki od njih ima otpor od $680\ \Omega$ i opteretivost od $1\ \text{W}$, zajednički otpor svih ovako spojenih otpornika je $56,5\ \Omega$, uz maksimalnu opteretivost do $12\ \text{W}$.

Pomoću takve lažne antene moći ćemo ispitivati predajnike kojima je INPUT do $20\ \text{W}$. Uz kratkotrajnije uključivanje isti otpornici će podnijeti i veća opterećenja: u trajanju od 10 sekundi do $50\ \text{W}$ INPUT. Ukoliko upotrebimo dvovalne otpornike opteretivost lažne antene postaje dvostruka.

Sličnu »lažnu antenu« možemo načiniti i prema sl. 21-68. Kako se vidi na shemi, ovdje je dodana dioda D koja, ispravljajući VF napon i nabijajući kondenzator C , omogućuje mjerenje VF napona na jednostavan način. Upotreblijeno je ukupno 5 otpornika. Od njih četiri imaju otpor od $220\ \Omega$, a jedan $470\ \Omega$. Budući da su svi spojeni paralelno rezultirajući otpor je $50\ \Omega$. Isti se rezultat može postići i sa 6 otpornika od po $330\ \Omega$ uz dodatak otpornika od $470\ \Omega$. Također se paralelnim spajanjem postiže $50\ \Omega$! Na sl. 21-69 je ova druga kombinacija otpornika zalemljena oko koaksijalne priključnice, montirane na limenom poklopcu kakvim se zatvaraju neke konzerve, boje i slično, u limenim »dozama«. Takva prazna kutija je onda dobar »oklop«. Srednji je kontakt koaksijalne priključnice produžen malo više od dužine samih otpornika. Na

gornjem kraju tog produženja je metalna pločica između koje, s jedne strane, i »uzemljenog« dijela koaksijalne priključnice s druge strane, moraju biti zalemljeni otpornici, ukupno 7 njih. Kao osmo treba zalemiti diodu. Njezin jedan kraj (anoda) dolazi na »vrući kraj« otpornika, onaj koji je u vezi sa srednjim kontaktom koaksijalne priključnice. Drugi kraj diode (katoda) je zalemljen na malu, izoliranu priključnicu koja će predstavljati pozitivni pol (vidi sliku) za mjerenje napona. Negativni pol je sam metalni poklopac, odnosno sama oklopna kutija. Između to dvoje je zalemljen kondenzator C , najkraćim mogućim putem. Kapacitet od $10\ \text{nF}$ bit će sasvim dovoljan za mjerenja u kratkovalnom području između 3 i $30\ \text{MHz}$. Kondenzator se nabije na vršnu vrijednost VF napona. Ako se napon mjeri voltmetrom velike osjetljivosti (barem $20\ \text{k}\Omega/\text{V}$) račun daje vršnu vrijednost snage ($W = U^2/R$) ili PEP (»Peak Envelope Power«).



Sl. 21-69. Unutrašnji izgled lažne antene sa ispravljačem, sl. 21-68, ali sa 6 otpornika od po $330\ \Omega/2\ \text{W}$ i jednim od $470\ \Omega/2\ \text{W}$. Vidi tekst

Vatmetarska sonda za male UKV odašiljače

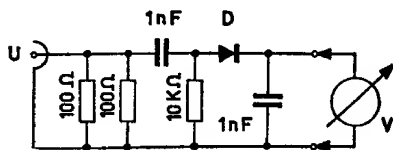
Shemu male vatmetarske sonde za mjerenje izlazne snage tranzistor-
skih »ORPP TX«, za 144 i 432 MHz, koju možemo sami načiniti, prika-
zuje sl. 21-70. Ulazna priključnica
mora biti spojena sa odašiljačem
komadom koaksijalnog kabela koji
je dugačak polovicu dužine vala za
dvometarski opseg. Ista dužina ima
onda za 70-centimetarski opseg tri
polovice dužine vala. Pri tome se,
dakako mora uzeti u obzir i faktor
skraćenja za upotrebljeni kabel.
Ako taj iznosi 0,66 onda je dužina
kabela (zajedno s priključnicama)
68 cm.

Paralelno spojeni otpornici po
100 Ω imaju ulogu lažne antene od
50 Ω . Ako su to poluvatni otpornici,
moći će podnijeti trajna opterećenja
do 1 W ili, na kraće vrijeme, do
1,5 W bez većeg zagrijavanja. Tko
želi može umjesto ovih otpornika
staviti tri poluvatna otpornika koji
imaju po 150 Ω . Otpor lažne antene
je opet 50 Ω , a opteretivost veća.

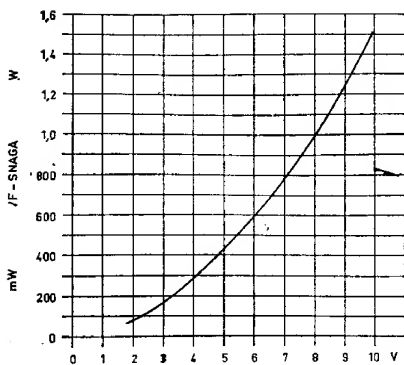
Dioda *D* mora biti *germanijeva*,
što bolje kvalitete. To znači da u
propusnom smjeru mora imati ma-
len a u zapornom smjeru što veći
otpor. Njen maksimalno dopustivi
zaporni napon (*PIV*) ne treba biti
viši od 30 V. Takve se diode obično
upotrebljavaju za demodulaciju u
AM i u FM prijemnicima.

Otpornik od 10 k Ω može biti če-
tvrtvatni ili poluvatni. Oba konden-
zatora od 1 nF moraju biti mini-
jaturni, kao i za druge UKV sklo-
pove.

Sve sastavne dijelove treba mon-
tirati jedan uz drugi onako, kako



Sl. 21-70. Shema male vatmetarske sonde za UKV do 450 MHz



Sl. 21-71. Dijagram za određivanje izlazne snage UKV davača uz upotrebu vatmetarske sonde prema sl. 21-70. Vidi tekst

je nacrtano na sl. 21-70, da među-
sobni spojevi, kao i spoj sa koaksi-
jalnom priključnicom i koaksijal-
nim kabelom budu što je moguće
kraći.

Voltmetar *V* se priključuje iz-
vana i ne treba biti ugrađen u son-
du. On ne smije predstavljati pre-
veliko opterećenje. Ako mu je
osetljivost 10 k Ω /V napone ćemo
čitati na mjernom području koje
neka ne bude manje od 25 ili 30 V.
Bolji je voltmetar koji ima osetlji-
vost 20 k Ω /V, jer onda smijemo
upotrebiti mjerno područje do 10
ili 15 V.

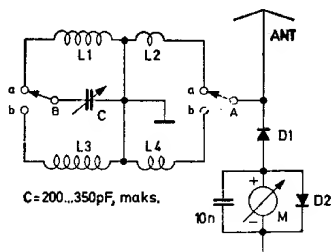
Ovisnost istosmjernog napona i
dovedene visokofrekventne snage
prikazana je na dijagramu (sl.
21-71) prema podacima tvornice
»PYE«. Priključeni UKV odašiljač
možemo uz pomoć ovakve sonde op-
timalno ugoditi i istovremeno sa-
znati kolika mu je izlazna snaga.
Razlike koje se mogu naći između
vrijednosti za napon na ovom dija-
gramu i na sl. 21-66 dolaze otuda što
su tamo navedene vršne vrijed-
nosti VF napona, a ovdje se voltme-
trom mjeri istosmjerni izlazni na-
pon sonde. Za dijagram na sl. 21-71
trebalo je također uzeti u obzir i
pad napona na diodi *D*, kao i na
otporniku od 10 k Ω . Zbog tih pado-

va napona ovom malom sondom ne možemo pouzdano mjeriti izlazne snage koje su manje od 100 mW.

MJERENJE JAKOSTI POLJA

Kad smo, u poglavlju o antenama, govorili o ugradnji Yagi antene (str. 609) opisali smo i upotrebu dipola. Sa improviziranim dodatkom diode i mjernog instrumenta, dipol je poslužio za mjerenje jakosti polja u blizini antene. Bio je to zapravo »indikator jakosti polja«, jer se pomoću njega moglo postići da antena bude optimalno ugrađena. To i jest ono, što amatera interesira. Amater će se najčešće zadovoljiti takvom spravom, jer mjerenje visokofrekventnog polja nije jednostavno. Da se dobije mjerni rezultat u voltima na metar (V/m) treba isključiti mnoge izvore pogrešaka i mora se imati na raspolaganju precizno baždaren instrumentarij.

Kao univerzalni »mjerač polja« možemo upotrebiti uređaj prema sl. 21-72. Titrajni krug, koji mora resonirati na frekvencije u potrebnom području, sastavljen je od promjenljivog kondenzatora C i zavojnice L_1 ili L_2 . Sa glavnim je zavojnicom u induktivnoj vezi zavojnica L_2 ili L_4 , prema tome na koju je stranu prebačen preklopnik A/B. Zavojnica L_2 ili L_4 potrebna je za vezu sa antenom i sa mjernim sklopom. Ove zavojnice moraju imati oko 1/5 broja zavoja one koja se nalazi u titrajnom krugu. Ako pro-



Sl. 21-72. Shema za gradnju mjerača VF polja. Opis u tekstu

mjenljivi kondenzator ima maksimalni kapacitet oko 200 do 350 pF i malen početni kapacitet (ne veći od 10 pF), možemo očekivati da ćemo moći obuhvatiti opseg između maksimalne i minimalne frekvencije u odnosu oko 3,5:1. To znači da ćemo čitavo kratkovalno područje moći potpuno obuhvatiti sa dva mjerna opsega: od 3 do 10,5 MHz, te od 9,5 do 33 MHz. Prema ovome moramo načiniti i zavojnice. L_1 i L_2 namataju se jedna uz drugu; L_3 i L_4 također, svaki par zavojnica na svome valjčastom tijelu. Broj zavoja ovisi o promjeru tijela. Upotřebit ćemo ono što se nađe »pri ruci« a za određivanje broja zavoja moramo se poslužiti metodom »reži i nadoveži« uz upotrebu dipmetra.

Diode mogu biti bilo kakve visokofrekventne silicijeve. Dioda D_2 , spojena paralelno sa instrumentom M (oko 100 μA) štiti ga od preterećenja jer, zahvaljujući diodi, napon na krajevima instrumenta ne može preći 0,7 V. Dioda D_1 ispravlja visokofrekventne napone. Ona može biti ili germanijeva ili silicijeva sa malim vlastitim kapacitetom.

Antena, ANT, je mala, složiva antena, kao one na prenosnim radio-aparatima. Mijenjajući njenu dužinu možemo mijenjati i osjetljivost mjerača polja.

Za mjerenje polja ovaj aparat će se stavlja nedaleko od emisione antene i njegov se titrajni krug ugodi na frekvenciju predajnika. Primjena mjerača polja bit će najčešća kod ugađanja antene. Tada je potrebno emisionu antenu i eventualne pomoćne uređaje (antenski prilagođivač!) ugoditi na maksimum odklona na mjeracu polja. Njegovo je pokazivanje u izravnoj ovisnosti o stvarno emitiranoj visokofrekventnoj snazi, onoj koja odlazi u prostor.

Ako titrajni krug u mjeracu polja načinimo tako da može resonirati, npr. u dvometarskom opsegu, moći ćemo takav uređaj upotrebljavati i na tim frekvencijama.

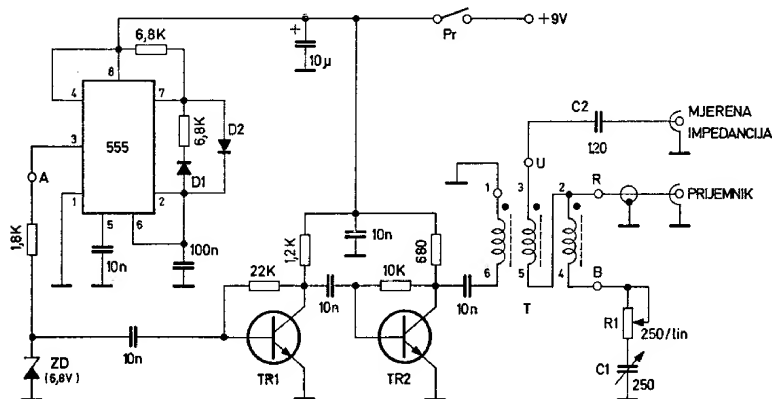
MJERENJE IMPEDANCIJE ANTENSKOG SISTEMA

U literaturi se za mjerenje impedancije antenskog sistema često spominjao i preporučivao uređaj, nazvan »antenaskop«. Njega nećemo opisivati! Nije ga teško načiniti, ali njegova upotreba pretpostavlja i istovremenu primjenu snažnijeg dip-metra. Tranzistorski dip-metri obično ne daju dovoljno snažan signal za pouzdan rad »antenaskopa«. Jači dip-metri, oni sa elektronskim cijevima, obično rade sa priključkom na električnu mrežu i nisu upotrebljivi »na terenu«, tj. na krovu ili u »portablu«. Bolji je i spretniji mjerni most koji ima ugrađenu malu bateriju za napajanje električnom energijom. On može imati male dimenzije, vrlo je pokretan i dovoljno tačan.

Shema takvog mjernog mosta je na sl. 21-73. Podaci su uzeti iz radioamaterskog priručnika koji je 1984. izdao ARRL. Uređaj ima tri glavna dijela: širokopojasni generator šuma, visokofrekventni mjerni most s transformatorom *T* i generator četvrtastih impulsa frekvencije 1000 Hz.

Kao širokopojasni generator šuma upotrebljena je Zenerova dioda, *ZD* za napon između 6 i 7 V. Sve Zenerove diode, više ili manje, šume. Da nam taj njihov šum ne smeta, Zenerove diode su redovito premoštene nekim kondenzatorom kojim se taj šum može ukloniti. Mi ovdje ne uklanjamo šum, već ga pojačavamo sa dva širokopojasna stupnja, s tranzistorima *TR*₁ i *TR*₂. Za mjerenje u kratkovalnom opsegu potrebno je da šum bude podjednako jak od početka do kraja. Da se to postigne mogu se upotrebiti tranzistori kojima je granična frekvencija (*f_T*) iznad frekvencije koju kod mjerenja trebamo. Danas je takvih tranzistora vrlo mnogo. Već BC 107 može potpuno zadovoljiti, kao i BF 173, BF 224 ili 2N2218 do 2N2222 (za KV opseg).

Da bi visokofrekventni mjerni most mogao pravilno raditi mora transformator *T* biti također širokopojasnih karakteristika i na sekundarnoj strani mora dati što simetričnije napone. To se postiže trifilarnim namatanjem. Dovoljno je 8 trifilarnih namotaja sa žicom od 0,4 mm, CuL, na prstenastoj fe-



Sl. 21-73. Most za mjerenje visokofrekventnih impedancija, osobito za antenske sisteme. Prijemnik, ugođen na odabranu frekvenciju služi kao indikator »nule«. Kao struja pomoću koje se mjeri služi visokofrekventni šum širokog spektra, dobiven iz Zenerove diode. Integrirani sklop modulira taj šum frekvencijom od 1000 Hz. Opis u tekstu

ritnoj («toroidnoj») jezgri promjera oko 10 mm. Na shemi su svi počeci žica u trifilarnom namotaju označeni tačkicama pa ih je lako pravilno spojiti.

Potenciometar R_1 mora imati maksimalnu vrijednost otpora 250 Ω i mora biti linearan, grafitni i dobre kvalitete. *Montirati se mora izolirano i udaljeno od ostalih dijelova*, najbolje na pločici od pleksi-glasa ili vitroplasta (bez bakra!). Njegovu osovinu treba produžiti izoliranim, okruglim štapićem, promjera 6 mm. To može biti »juvidur«, tvrda varijanta polivinilklorida (PVC). Montiranje promjenljivog kondenzatora je vrlo jednostavno, jer mu rotor smije biti uzemljen. Kapacitet neka mu bude do 250 pF, sa poluokruglim pločicama.

Integrirani sklop 555 iskorišten je kao *generator četvrtastih impulsa*. Ima ih približno 1000 u sekundi. Ovim se impulsima napaja Zenerova dioda. Njezin šum se javlja u tome ritmu. Prijemnik koji će nam biti »nul-indikator«, priključen na označenu koaksijalnu utičnicu, na svim će kratkovalnim frekvencijama primati taj »modulirani šum« koji ćemo čuti kao zvuk, pomalo svojevrsne boje, visok koliko odgovara modulacijskoj frekvenciji (1000 Hz).

Za baždarenje («kalibraciju») uređaja i za crtanje skala nisu potrebni nikakvi posebni instrumenti, osim nekoliko otpornika, nekoliko kondenzatora i malo strpljivosti.

Kad je prijemnik priključen koaksijalnim kabelom sa mjernim mostom, uključit ćemo 15-metarski kratkovalni opseg i skalu polako okretati. Na čitavoj se skali čuje podjednako glasan šum sa svojom modulacijom od 1000 Hz. Ostavimo skalu prijemnika na bilo kojoj frekvenciji u tome opsegu, na koaksijalnu priključnicu »mjerna impedancija« spojimo otpornik od 25 Ω , sa što kraćim žicama, tek toliko dugim da se može načiniti spoj. Najlakše će se to postići ako

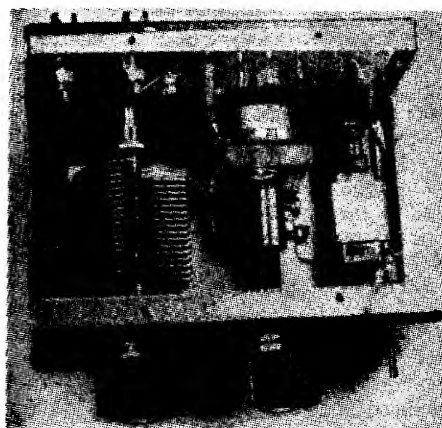
je otpornik minijaturnih dimenzija (1/4 vata!).

Pažljivim okretanjem dugmeta kondenzatora C_1 i dugmeta otpornika R_1 treba sada postići da se zvuk, koji čujemo prijemnikom, smanji što je više moguće, da postignemo »nulu«. Pritom se zvuk više ne čuje ili je sasvim slab. Dugme kondenzatora više ne diramo, a na skali promjenljivog otpornika zabilježimo položaj dugmeta za otpor od 25 Ω .

Taj ćemo postupak ponoviti sa otpornicima od 50, 100, 150 i tako redom dok se kod 200 ili 250 Ω dođe do kraja skale. Pritom se dugme promjenljivog kondenzatora ne smije dirati!

Kad je to gotovo, baždarit ćemo i skalu kondenzatora. Najprije stavimo kondenzator u takav položaj da su ploče rotora upravo do polovice zavučene među ploče statora. To je buduća nula ove skale. Zabilježimo je! Sada na priključnicu za »mjernu impedanciju« stavimo otpornik od 50 Ω , skalom otpornika pokušamo glasnoću signala, koju čujemo prijemnikom, smanjiti na minimum. Zatim treba još popraviti skalu kondenzatora da se signal smanji »na nulu«. Ako se nov položaj dugmeta kondenzatora ne slaže sa ranije zabilježenom »nul-tačkom« na skali, *mora se mijenjati* C_2 . Njegov će kapacitet biti *blizu* 120 pF, ali tačna vrijednost je postignuta onda ako je »nul-tačka« kondenzatorske skale na ranije zabilježenom mjestu. Možda će biti dovoljno da se između kondenzatora sa oznakom »120 pF« pronađe jedan koji će upravo odgovarati ovom zahtjevu.

Kad je konačno pronađena odgovarajuća vrijednost kapaciteta C_2 , možemo nastaviti s baždarenjem. U tu svrhu treba *u seriju* sa već upotrebljenim otpornikom od 50 Ω stavljati kondenzatore od 20, 40, 60 i tako redom, sve do približno 100 do 120 pF. Svakiput treba nanovo potražiti položaj dugmeta za minimum glasnoće i zabilježiti ga na



Sl. 21-74. Pogled u unutrašnjost uređaja za mjerenje VF impedancija. Vidi se raspored glavnih dijelova

skali. Kad je to gotovo na jednoj polovici skale, moramo baždariti i drugu polovicu. Sad ćemo na priključnici »mjerena impedancija« ostaviti samo otpornik (50 Ω), a kapacitete od 20, 40, 60 pF i tako redom privremeno priključivati *paralelno* sa C_2 . Tražeći redom na skali kondenzatora položaj dugmeta za »nulu« glasnoće i to ćemo zabilježiti. Tako je baždarenje završeno. Na jednoj polovici skale se kondenzator mora zatvarati. Tu polovicu označimo sa »+«. Onu polovicu skale kod koje se kondenzator mora otvarati, označimo sa »-«. Vidi sl. 21-74 i sl. 21-75.

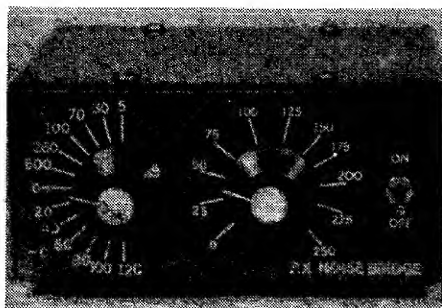
Skala otpornika R_1 je označena u omima (Ω), dok je skala kondenzatora u pikofaradima (pF). Dio skale koji je označen sa »+ C « kaže da mjerena impedancija ima dodatnu vrijednost *kapacitivnog* otpora. Drugi dio skale vrijedi za impedancije sa *induktivnom* komponentom. Taj je označen sa »- C «. Da znamo kolika je prava vrijednost impedancije moramo je izračunati, jer ovisi i o frekvenciji:

$$X = \frac{1}{2\pi fC}$$

U račun treba uzeti frekvenciju kod koje je izvršeno mjerenje. To je frekvencija na koju je bio ugođen prijemnik koji nam je služio kao indikator nule.

Ako želimo saznati kolika je priključna vrijednost impedancije same antene, mjerenje bismo morali izvršiti na mjestu napajanja, na samoj anteni. Ako mjerenje izvršimo na kraju antenskog kabela, nećemo dobiti impedanciju antene. Rezultat će odgovarati priključnoj vrijednosti impedancije cijelog antenskog sistema, tj. antene i kabela zajedno. Ukoliko je dužina kabela upravo jednaka cjelobrojnom umnošku polovica dužine vala (uračunati faktor skraćivanja samog kabela!), mjerenje će ipak dati impedanciju same antene. U tome slučaju kabel služi kao transformator impedancije u omjeru 1:1, kako smo to utvrditi u poglavlju o antenama (19).

Kao primjer uzmimo da je V-antena napajana kabelom dužine $\lambda/2$ i da je mjerenje impedancije bilo izvršeno usred 40-metarskog opsega, kod frekvencije 7,050 MHz. Tu frekvenciju je pokazivala skala upotrebljenog prijemnika. Na skali otpornika R_1 pročitali smo, kad je bila postignuta najdublja nula, vrijednost 45 Ω . Na skali C_1 pročitali



Sl. 21-75. Vanjski izgled uređaja za mjerenje VF impedancija sa skalama poslije baždarenja

smo + 70 pF. To znači da je impedancija kapacitivna. Izračunajmo je:

$$X = \frac{1}{2 \pi (7,05 \times 10^6) (70 \times 10^{-12})} = 322,5 \Omega$$

Kad bi antena bila u resonanciji na frekvenciji 7,050 MHz, kapacitivni dio impedancije, kao i induktivni, morali bi biti jednaki nuli! *Postojanje kapacitivne komponente ukazuje na to da je antena prekratka i da joj treba dužinu povećati, simetrično na oba kraja!*

Koliko je treba produžiti? Prijemnikom potražimo frekvenciju kod koje će se minimum glasnoće signala podudarati sa položajem dugmeta na skali C_1 , označenim kao »O«. *Procenutalna razlika između ove nove frekvencije i one na kojoj bismo želeli raditi s antenom daje nam podatak za koliko procenata treba promijeniti dužinu antene.* Sličan je postupak, ako je antena predugačka, kad se postiže najtiši prijem uz položaj dugmeta C_1 u području vrijednosti »C«. Za taj postupak čak nije potrebno izračunavanje impedancije X!

KONTROLA I BAŽDARENJE S-METRA

Kontrola skale S-metra nije bez problema. To je *relativna skala* koja je najprije bila definirana prema tome kako se telegrafski signali čuju određenim prijemnikom. Bio je to nekadašnji O-V-I, tj. prijemnik bez visokofrekventnog pojačanja, sa audionom koji ima povratnu vezu, te sa jednim stupnjem niskofrekventnog pojačanja. Prijemnik je bio sa dvije triode, a slušalo se na telefonske visokom-ske slušalice.

Budući da su današnji prijemnici sasvim drukčije građeni i drukčije se ponašaju, odlučeno je da se kao S-9 uzme onaj signal koji na 50-omskom ulazu prijemnika daje VF napon od 50 μ V. Neke tvornice su za S-9 uzele 100 μ V, dok kod nekih S-metar pokazuje S-9 već kod

ulaznih VF napona ispod 30 μ V. Kod UKV prijemnika se događa da S-metar pokazuje S-9 već kod 5 do 6 μ V na ulaznoj priključnici.

Za pojedini stupanj S-skale, u skladu sa svojstvima uha, je bilo odlučeno da treba iznositi po 6 dB. Za signale jače od S-9 da treba na skali napisati koliko je decibela signal »iznad S-9«.

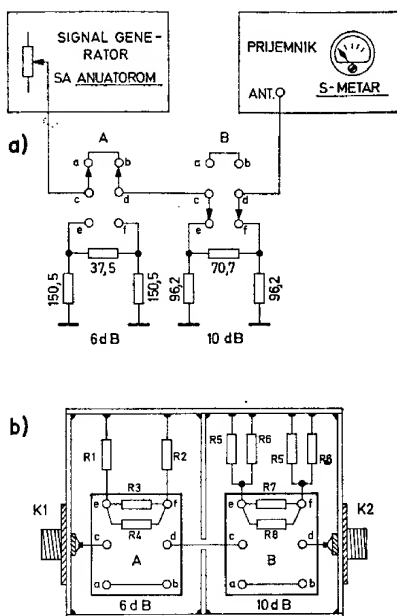
Na tvorničkim uređajima to vrlo često nije tako da bi se »dočarao« utisak kako je aparat »osjetljiv«. Baždarenim signal-generatorom koji ima mogućnost promjene jakosti signala, kod kojega se osim toga izlazni napon može mjeriti, lako je kontrolirati S-metar u laboratorijskim uvjetima rada. Amateru to obično nije moguće.

Za one koji sami grade svoje uređaje i žele imati baždareni S-metar donosimo na sl. 21-76 opis pribora kojim se to ipak može postići.

Kao prvo odlučit ćemo da baždaramo S-metar u nekom kratkovalnom opsegu. Ukoliko ispred kratkovalnog prijemnika stavljamo konvertor za prijem UKV-opsega, zadovoljit ćemo se pokazivanjem istog S-metra.

Za baždarenje S-metra, kao i za provjeru relativnih odnosa na postojećim S-metarskim skalama, potreban nam je *signal-generator* koji ima ugrađen *atenuator* za kontinuirano mijenjanje jakosti signala, zatim dovoljno tačan *atenuatorski podatak* kojim se signal može oslabiti za 6 dB i za 10 dB; dakako i kratkovalni prijemnik sa ugrađenim S-metrom koji ćemo baždariti.

Budući da, redovito, nemamo čime mjeriti mali ulazni VF napon, moramo ići drugim putem. Ako se zadovoljimo S-metrom kod kojega će *relativni odnosi na skali biti ispravni* (a to je glavno), mi ćemo jednostavno »proglasiti« da je S-9 negdje oko 2/3 skale. Sastavimo »aparaturu« prema sl. 21-76a. Kad su oba dvostruka preklopnika, A i B, u takvom položaju da signal može neoslabljen proći do prijemnika, ugrađenim *atenuatorom* signal-gene-



Sl. 21-76. Pribor za kontrolu i baždarenje S-metra; a) shema uređaja; b) kutija sa preklopnicama i mrežom otpornika za oslabljivanje VF signala za 6 dB i za 10 dB. $R_1 = R_2 = 150 \Omega$; $R_3 = 39 \Omega$; $R_4 = 820 \Omega$; $R_5 = 100 \Omega$; $R_6 = 2,7 \text{ k}\Omega$; $R_7 = 82 \Omega$; $R_8 = 560 \Omega$

ratora mijenjamo jakost signala dok nam kazaljka S-metra dođe do odabrane tačke. Tu napišemo, za početak S-9. Kad smo to postigli, prebacimo preklopnik *B* u nacrtani položaj i tako uključimo oslabljenje »10 dB«. Kazaljka padne. Na signalgeneratoru pojačavamo signal dok kazaljka ponovno dođe na pređašnje mjesto i onda vratimo preklopnik *B* u početni položaj. Signal naraste upravo za 10 dB, kazaljka se pomakne do tačke koju označimo kao »S-9 + 10 dB«. Ponovimo li postupak, doći ćemo do tačke koju treba označiti kao »S-9 + 20 dB«. Ako bi to bilo negdje izvan skale, moramo odabrati »niži« položaj za

»S-9« i ponavljati postupak sve dok nam »+ 20 dB« ne bude negdje na kraju skale.

Kad je to postignuto, vratimo signalgeneratorom jakost signala natrag na »S-9«. Preklopnik *B* sada ostaje stalno u položaju kod kojega je otpornička mreža isključena (na slici prema gore!). Kad uključimo prigušenje od 6 dB, kazaljka će pasti u položaj koji odgovara za »S-8«. Vratimo preklopnik *A* u početni položaj da pregušenje bude isključeno i atenuatorom u signalgeneratoru poravnamo kazaljku S-metra sa tačkom za »S-8«. Kad ponovno uključimo prigušenje od 6 dB, kazaljka će pasti na »S-7« i tako ćemo, nastavljajući postupak, tačku po tačku, doći sve bliže nuli instrumenta. To ne mora biti ujedno i »nula« S-metra. Skala S-jedinica i nema nule!

Možda ćemo negdje blizu početka skale mjernog instrumenta, kod njegove nule, napisati — radeći na opisan način — neku veću brojku, možda S-2 ili S-3. Za manje brojke, možda, neće više na skali biti mjesta! To ne smeta, jer je sigurno bliže realnim situacijama kad se stanica koju slušamo još prilično dobro čuje, a S-metar ne pokazuje ništa. Čitajući S-metar na tvornički proizvedenom prijemniku neki amateri daju upravo besmislene raporte, kao što je, npr. »čujem vas sa 59 po uhometru ali sa 5-nula po S-metru«. To znači samo jedno: skala takvog S-metra ne valja! — Opisanim postupkom dobit ćemo mnogo bolju skalu!

Prigušivač signala za 6 dB i za 10 dB mora biti oklopljen i što savjesnije sagrađen. Skica na sl. 21-76b pokazuje kako to treba načiniti. *K*₁ i *K*₂ su koaksijalne priključnice za spoj sa signal-generatorom s jedne i sa prijemnikom, s druge strane. Dvopolni preklopnici, *A* i *B*, ugrađuju se u posebne prostore unutar oklopne kutije. Ona se, kao i pregrada kroz njenu sredinu može

načiniti iz bakrom kaširanog per-
tinaksa. Kroz pregradu je probuše-
na rupica za prolaz žice *d-c*.

Kako je napisano na shemi, sl.
21-76a, vrijednost otpornika *nisu* ni
okruglih ni standardnih vrijednosti.
Treba ih sastaviti paralelnim spaja-
njem standardnih otpornika. Bit će
dovoljna tolerancija od $\pm 5\%$. Ot-
pornici su označeni od R_1 do R_8 i
treba ih ukupno 10 komada. Njiho-
ve su vrijednosti navedene u legen-

di uz. sl. 21-76. Velikog optereće-
nja ovdje nema. Zato otpornici mo-
gu biti 1/4 vatni. Zalemiti ih treba
kako je nacrtano, sa što kraćim ži-
cama. Prema dimenzijama preklop-
nika i otpornika moramo načiniti i
oklopnu kutijicu. Ipak će biti nekih
preostalih induktiviteta i nekontro-
liranih malih kapaciteta. Da nam
kod mjerenja što manje smetaju
treba cijelo baždarenje izvršiti na
80- ili 40-metarskom opsegu.

SMETNJE RADIO-PRIJEMU I TELEVIZIJI

RADIO-AMATER I SUSJEDI

Pojava smetnja kao poseban problem

Kad govorimo o radio-amateru i njegovim susjedima, onda mislimo na ostale radio-amatere koji su mu susjedi na frekvencijama unutar amaterskih opsega, mislimo na različite radio-veze koje se održavaju na »susjednim« frekvencijama i, konačno, mislimo na sve one koji u blizini neke amaterske radio-stanice žele nesmetano slušati radiofonijski program i gledati televiziju.

Svaki radio-amater obavezan je upotrebljavati svoje uređaje na takav način da se izbjegne svako smetanje.

Amaterima koji rade u istom opsegu frekvencija mogu smetati »splateri« i druge neispravnosti modulacije, kao i nestabilnost frekvencije. Dobro sagrađena i ispravno posluživana radio-stanica može ove smetnje lako izbjeći. O tom je već ranije bilo govora.

Različitim radio-vezama koje se održavaju na frekvencijama izvan amaterskih opsega radio-amater *nikada* ne smije smetati. I tome se razmjerno lako može izbjeći kontrolirajući vlastitu frekvenciju koja u svakom slučaju mora ostati unutar propisanih, za amaterski rad određenih kratkovalnih i ultrakratkovalnih opsega. U tu svrhu bi svaka amaterska radio-stanica morala imati neki kontrolni mjerni instrument kojim se frekvencija može odrediti barem na 0,1% ili još bolje. To ujedno znači da bez preciznog

poznavanja svoje frekvencije *nikada ne smijemo raditi* blizu ruba opsega. Pogreška od 0,1% iznosi u 80-metarskom opsegu 3,5 do 3,8 kHz; u 40-metarskom oko 7 kHz; u 20-metarskom oko 14 kHz; u 15-metarskom oko 21 kHz; u 10-metarskom opsegu skoro 30 kHz. Ista, naoko mala pogreška u dvometarskom opsegu iznosi već blizu 150 kHz! Da se ne izložimo opasnosti prekoračenja propisanog opsega, ne bismo se sa svojom radnom frekvencijom smjeli ni toliko približiti rubu opsega. Moramo uzeti u obzir i širinu koju zauzimamo svojim signalom. Ova je najmanja kod urednih telegrafskih signala; veća je kod SSB; još veća kod AM-telefonije i najveća kod emisije frekventno moduliranih signala.

Sve ove smetnje je lako izbjeći. Daleko je teže sa onim smetnjama koje se često opažaju na radio-prijemnicima i televizorima u neposrednoj blizini amaterske radio-stanice. Pojava tih smetnji može biti poseban, vrlo neugodan problem, budući da se smetnje mogu pojaviti i onda ako su svi uređaji amaterske stanice u potpunome redu! Postoji naime mogućnost da amaterska stanica ne emitira nikakvih smetnja, već da one nastaju u radio-aparatu ili u televizoru kod susjeda! U svakom slučaju je radio-amater ona osoba koja mora ukloniti sve smetnje, ako želi dalje raditi. Kako pokazuje iskustvo, ovo često nije lagan zadatak.

Najprije moramo biti sigurni da naš davač ne emitira ništa izvan propisanih frekvencija, da nema ni-

kakvih ni parazitskih ni harmoničkih frekvencija, da nema ni »splattera« ni »kliksova«. Posebno je važno da ispitamo pojavljuju li se bilo kakve smetnje na radio-aparatu ili televizoru u *našem* stanu. Svakako će i nestručnjaku biti uvjerljivo, ako mu možemo pokazati da *naši* ukućani mogu nesmetano slušati radio-program i mirno gledati televiziju za vrijeme dok mi održavamo veze svojom amaterskom radio-stanicom.

Ako smo promijenili uređaje ili ako radimo na nekom novom opsegu frekvencija, provjerimo zajedno sa susjedima da li možda postoje neke smetnje. Promijenimo li antenu ili smještaj radio-stanice, stupimo *odmah* u kontakt sa susjedima i pitajmo ih da li opažaju bilo kakve smetnje. U kontaktu s njima pokazat ćemo svoju dobru volju i lakše ćemo susjede pridobiti za suradnju pri uklanjanju smetnja, čak i onda ako uzrok pojave smetnja leži u njihovim uređajima. Ima ljudi koji su strpljivi i koji će rado podnositi neku manju smetnju, ali što prije se potrudimo da i tu smetnju uklonimo, tim će bolje biti. Što duže mora susjed na nas čekati, to će manje volje imati da surađuje s nama.

Ako se javljaju bilo kakve smetnje dok radi amaterska radio-stanica, prirodno je da će svi smatrati da je ona uzrok smetnjama. Tek onda kad smo *sasvim* sigurni u *potpunu* ispravnost svojih uređaja, moramo *strpljivo* i na lijep način rastumačiti susjedu da se poteškoće javljaju zbog nekih svojstava njegovog radio-aparata ili televizora i da je potrebno kod njega načiniti neke preinake ili montirati dodatni pribor, ukoliko on želi i očekuje da u buduću ima nesmetan prijem. Pri tome se moramo sami uvjeriti o prirodi smetnje, najbolje tako da zamolimo nekog drugog amatera da radi na *našoj* stanici dok smo mi kod susjeda.

Čitav uspjeh često ovisi o *načinu* našeg nastupa i pristupa rješa-

vanju problema smetnja. Stanovišta kao »bašmebriga«, »štamesetiće« ili »kod mene je sve u redu« ne vode ničemu! Ne zaboravimo da svatko ne može nabaviti najnoviji model televizora i da, unatoč tome, nitko ne voli čuti kako njegov uređaj »ništa« ne valja. Moramo nastojati da svojim načinom pridobijemo susjeda za suradnju.

Ako ove probleme ne uspijemo sami riješiti i ne osiguramo »mirnu koegzistenciju« sa susjedima, oni nas mogu tužiti i od mjerodavnih ustanova zatražiti da prestanemo smetati. Tada nam neće ništa drugo preostati, već da svoj rad ograničimo na vrijeme kad nema radio-programa i kad televizija ne radi.

Ovdje ćemo navesti glavne izvore smetnja i pokazati metode njihovog uklanjanja.

UKLANJANJE IZVORA SMETNJA

Antenski sistem

U gradovima, gdje na malom prostoru ima mnogo radio-aparata i televizora, gdje su televizijske antene gusto zbijene na krovovima, nije lako postaviti amatersku kratkovalnu ili *UKV* antenu. Kad smo ipak pronašli neko mjesto, onda treba izbjegavati one vrste antena koje imaju neoklopljene dovode.

Neoklopljeni amaterski dovodi zrače u prostor oko sebe. Emitirana visokofrekventna energija može preteretiti ulazne stupnjeve svih okolnih radio-aparata i televizora i na taj način prouzročiti najžešće smetnje. U takvim situacijama ne dolaze u obzir antene kao što su, npr. Fuchs-ova antena, zatim četvrtvalna antena (tzv. »Marconi«) i nekad tako popularna »vindmica« ili »VS1AA«. I najispravniji odašiljač, ako je spojen s takvom antenom *mora* smetati. To je u gradu neizbježno!

Najbolji su antenski sistemi kojima je dovod načinjen od koaksi-

jalnog kabela, ali ni onda *antenska žica* ne smije biti postavljena u neposrednoj blizini drugih antena.

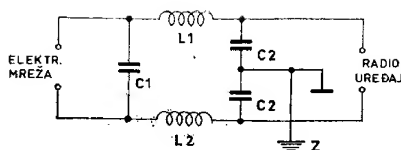
Ako na svom kratkovalnom prijemniku, na bilo kojem od amaterskih opsega, čujemo nešto kao slab val nosilac koji se pojavljuje svakih 15,625 kHz, onda je to već znak da smo sa svojom antenom *preblizu susjednim televizijskim antenama*. Frekvencijom od 15,625 kHz nižu se u televizoru redovi slike. Ove su oscilacije bogate višim harmoničkim frekvencijama koje se mogu čuti u kratkovalnom prijemniku. Ako amaterska kratkovalna antena prolazi u blizini većeg broja TV-antena, onda takve smetnje mogu biti vrlo neugodne. Budući da svi televizori rade sinhrono, smetnje koje oni proizvode jednostavno se zbrajaju! U takvom slučaju je velika vjerojatnost da će i radio-amater svojim emisijama smetati svim susjednim televizorima!

Priključak na električnu mrežu

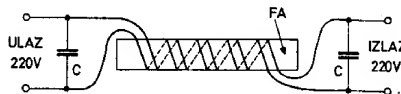
Priručnik kratkovalnog i ultrakratkovalnog davača na električnu mrežu mora biti izveden tako da u mrežu ne može prodrijeti nikakva visoka frekvencija! To se jednako tako tiče radne frekvencije na koju je ugrađen izlazni stupanj, kao i onih frekvencija na koje su ugođeni predstupnjevi.

Zaštitni filter (sl. 22-1) koji se uključuje između predajnika i električne mreže, može mnogo pomoći. Kapaciteti kondenzatora C_1 i C_2 obično nisu previše kritični. Redovito im vrijednosti leže između 1 i 10 nF. Važno je da njihov radni napon ne bude manji od 1000 V (ispitni napon oko 3000 V), da budu neinduktivni, najbolje keramički ili sa tinjčevom (»mika«) izolacijom.

Prigušnice L_1 i L_2 mogu imati oko 50 zavoja, namotanih lakiranim bakrenom žicom, debljine 1 mm, na valjcima promjera 10 do 15 mm.



Sl. 22-1. Filtriranje dovoda struje iz električne mreže. Takav filter ne dopušta prodor visokofrekventnih struja u električnu mrežu



Sl. 22-2. Bifilarno motana prigušnica za sprečavanje prodora VF struja u električnu mrežu FA = feritni antenski štapić; C = kondenzatori kao na sl. 22-1. Za namatanje ovakve prigušnice može poslužiti i sama dvožilna priključna žica!

Ako takav filter nije ugrađen u predajnik, možemo ga dodati izvana, ali onda treba da je ugrađen u limenu kutiju koja nije previše tijesna. Uzemljenje Z je ono isto koje služi za uzemljivanje amaterskog radio-uređaja.

Često pomaže i filter, načinjen prema sl. 22-2. Tu je umjesto dviju prigušnica samo jedna, bifilarno namotana na štapić feritne antene FA.

Propisan *zemljovod* također doprinosi prigušivanju mogućih smetnji.

Ukoliko se takvim filterima ne postigne potpun uspjeh, pa u susjednim televizorima i radio-prijemnicima, a možda i u niskofrekventnim pojačalima (stereo!), još uvijek ima smetnja, potražiti ćemo njihove eventualne uzroke najprije u svom uređaju.

Val nosilac i modulacija

Smetnje od vala nosioca mogu se pojaviti na dva načina: kao »zračna« frekvencija nekog prijemni-

ka ili transpozicijom u međufrekventno pojačalo radio-aparata pomoću viših harmoničnih frekvencija njegovog oscilatora. Prvo je rjeđa pojava. Druga vrsta ovih smetnja očituje se tako da se amaterski signali iz 80-metarskog opsega pojave na srednjevalnom području iznad 1500 kHz (zbog druge harmonične frekvencije oscilatora) ili negdje između 800 i 1000 kHz (zbog treće harmoničke frekvencije oscilatora). Protiv toga na amaterskom uređaju nema pomoći, jer tu ne leži ni uzrok ove pojave.

U svakom slučaju moramo nastojati da nam val nosilac bude stabilan. Modulacija mora biti čista, bez iskrivljenja i nikada ne smije biti tako jaka na se pojave »splateri«. Kod linearnih pojačala snage treba posebno paziti da pobuda nije prejaka.

Ima amatera koji zaboravljaju da se iz našeg stupnja koji služi kao linearno pojačalo može dobiti *prosječna* izlazna snaga koja je *najviše* jednaka *četvrtini* one snage koja bi se dobila u pojačalima klase C. Ako to zaboravimo, onda je sigurno da ćemo smetati svim ostalim amaterima na »bandu« kao i svim susjedima.

Prejakom modulacijom (AM, SSB ili FM, svejedno!) kao i prejakom pobudom (»drajvingom«) pravimo nepodnošljive smetnje drugim amaterima koji rade na istom ili čak na drugim valnim opsezima! Često svih takvih smetnja *potpuno nestane, ako smanjimo intenzitet modulacije* (»micro-gain«)!

Parazitske oscilacije

U predajniku se mogu pojaviti parazitske oscilacije. Njihovu pojavu treba izbjeći ispravnom gradnjom, prema onome što je o parazitskim oscilacijama rečeno u poglavlju o predajnicima.

Harmoničke frekvencije

Harmoničke frekvencije su često izvor različitih smetnja, osobito u bližim televizorima. Zato moramo spriječiti emisiju svih vrsta harmoničkih frekvencija.

Stupnjevi koji rade u klasi C (u davačima za telegrafiju, za amplitudno ili frekventno moduliranu telefoniju) po svojoj su prirodi skloni produkciji harmoničkih frekvencija. Dobrim izlaznim titrajnim krugovima harmoničke frekvencije se obično dovoljno potisnu pa ne mogu smetati redovnom radio-saoobraćaju. Ipak u *blizim* prijemnicima, osobito u televizorima, može doći do pojave smetnje. To znači da harmoničke frekvencije treba još jače potisnuti!

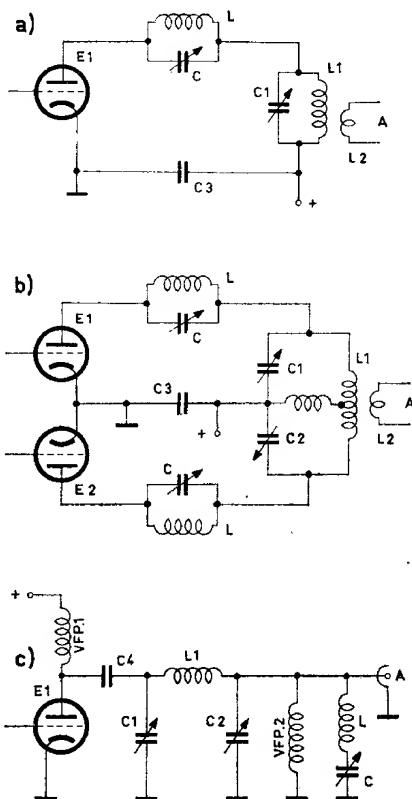
Ako smo utvrdili koja harmonička frekvencija smeta, možemo je potisnuti dodatnim, ugođenim filterima, prema sl. 22-3.

Ako je cijev E_1 u izlaznom stupnju davača, onda titrajni krug LC , ugođen na harmoničku frekvenciju koju treba potisnuti, služi kao »stupica« koja toj frekvenciji sprečava pristup do izlaznog titrajnog kruga L_1C_1 (sl. 22-3a).

Istu ulogu imaju i titrajni krugovi LC na sl. 22-3b. Kondenzator C ima obično oko 25 do 50 pF maksimalnog kapaciteta. Zavojnicu L treba načiniti tako da sa polovicom kapaciteta kondenzatora C resonira na onu harmoničku frekvenciju koja proizvodi smetnje.

Stupicu za harmoničke frekvencije možemo dodati i u često primjenjivani Collins-ov antenski filter (sl. 22-3c). Određena harmonička frekvencija predajnika potiskuje se serijskim titrajnim krugom LC koji se stavlja paralelno sa izlaznim priključkom antene. Veličinu kapaciteta C i zavojnicu L odabire se kao u prijašnja dva primjera i ugađa tako da smetnje budu najmanje.

Jednako se može postupiti i sa tranzistorskim stupnjevima u predajnicima.



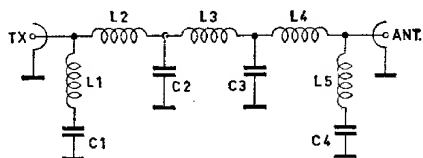
Sl. 22-3. Stupice LC za harmoničke frekvencije: a) u običnim; b) u protufaznim (»push-pull«) izlaznim stupnjevima; c) u izlaznom PI-filtru (Collins)

Ako je moguće, dobro je i u predstupnjevima izbjeći one frekvencije kojima više harmoničke padaju u neki televizijski »kanal«. Tako UKV davači, kojima je jedan od predstupnjeva ugođen na 72 MHz, često smetaju televizorima. Smetnje potiču od treće harmoničke frekvencije. To treba izbjeći i pri samoj gradnji UKV uređaja. Polazeći od 8 MHz možemo frekvenciju umnažati na 24, 72 i 144 MHz ili na 24, 48 i 144 MHz. Drugi je put bolji od prvoga, budući da izbjegava frekvenciju od 72 MHz.

Dodatni filteri za kratkovalne uređaje

Radio-amaterske veze se održavaju na različitim frekvencijama pa se može dogoditi da smetnje budu prouzročene višim harmoničkim frekvencijama koje potječu od većeg broja različitih osnovnih frekvencija. U takvim prilikama neće biti moguće ukloniti smetnje primjenom jednostavnih titrajnih krugova. Bolje je primijeniti takve filtere koji će nesmetano propustiti sve kratkovalne frekvencije, ali koji će istovremeno spriječiti prolaz onim višim harmoničkim frekvencijama koje padaju u ultrakratkovalno područje i zbog toga mogu praviti smetnje prijemu televizije. Propusno područje takvog filtera mora obuhvatiti sve frekvencije od 3,5 do 30 MHz. Granična frekvencija ne smije biti preblizu maksimalnoj frekvenciji koja još mora nesmetano proći. Zato se granična frekvencija filtera uzima oko 35 ili 40 MHz. Frekvencije koje su iznad granične frekvencije mora filter zadržati (»Low-pass filter«).

Shemu takvog filtera, koji je bio nebrojeno puta u praksi ispitan i uspješno upotrebljen, prikazuje sl. 22-4. On se stavlja između izlazne priključnice predajnika i antenskog koaksijalnog voda. Podatke za gradnju naći ćemo na tablici 22-1 za rad uz karakterističnu impedanciju antenskog voda od 50 i od 75 Ω . Na toj tablici možemo birati između četiri različite izvedbe filtera. Za snage do 100 W možemo upotrebiti



Sl. 22-4. Filter kojini se potiskuju sve frekvencije, više od tzv. granične frekvencije (»Low-pass filter«). Na tablici 22-1 su podaci za četiri različite izvedbe

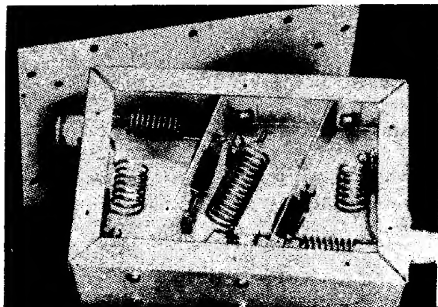
Tablica 22-1. Podaci za dodatne antenske filtere kratkovalnih predajnika (sl. 22-4)

Izvedba filtera	I	II	III	IV
Za karakterističnu impedanciju (Ω)	50	75	50	75
Granična frekvencija (MHz)	36	35,5	40	40
Frekvencija f_0 za $L_1 C_1$ i za $L_3 C_4$ (MHz)	44,4	47	50	50
Frekvencija f_1 (MHz) (vidi tekst)	25,5	25,2	28,3	28,3
Frekvencija f_2 (MHz) (vidi tekst)	32,5	31,8	36,1	36,1
Kondenzatori C_1 i C_4 (pF)	50	40	46	32
Kondenzatori C_2 i C_3 (pF)	170	120	154	106
Broj zavoja za L_1 i L_3	5,5	6	5	6,5
Broj zavoja za L_2 i L_4	8	11	7	9,5
Broj zavoja za L_5	9	13	8,5	11,5

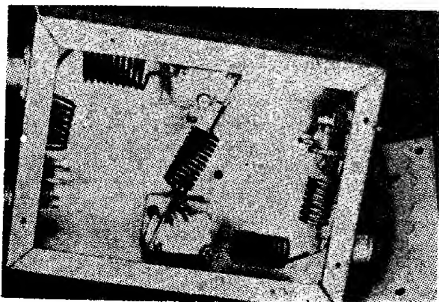
Napomena: Zavojnice su bez tijela, unutrašnji promjer im je 12 mm. Za motanje zavojnice služi lakirana bakrena žica debljine 1,5 mm. Razmak između pojedinih zavoja jednak je debljini žice.

fiksne kondenzatore (sl. 22-5). Za veće snage, do 500 W, bolje je ugraditi promjenljive kondenzatore, kao na sl. 22-6, koji po svojim razmacima između rotorskih i statorskih ploča moraju odgovarati

promjenljivim kondenzatorima u predajniku. Za snage iznad 250 W bilo bi potrebno zavojnice namotati debljom žicom, zadržavajući jednake vrijednosti induktiviteta i resonantnih frekvencija.



Sl. 22-5. Filter prema sl. 22-4, ugrađen u limenu kutiju veličine $5 \times 10 \times 15$ cm. U kutiji su koso postavljene dvije pregrade. Kondenzatori imaju fiksni kapacitet



Sl. 22-6. Filter za jače snage može biti sagrađen sa promjenljivim kondenzatorima. Ovaj je ugrađen u limenu kutiju veličine $5 \times 10 \times 18$ cm. O ugađanju filtera vidi tekst

Filter se može ugoditi dip-metrom. U tu svrhu treba filter najprije sastaviti *bez* zavojnica L_2 i L_4 .

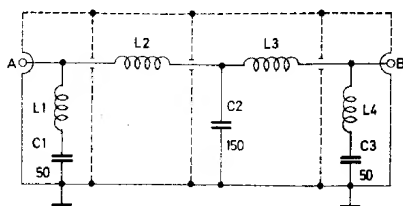
Načinimo kratak spoj u koaksijalnoj priključnici TX i dip-metrom ugodimo L_1C_1 tako da resonantna frekvencija bude f_0 , prema tablici 22-1. Ako kondenzator C_1 ima fiksnu vrijednost kapaciteta, treba mijenjati induktivitet L_1 zbijajući ili razvlačeći zavoje dok se postigne resonancija. Kad smo to uspjeli, načinimo kratak spoj u koaksijalnoj priključnici ANT i ugodimo na isti način i na istu frekvenciju titrajni krug L_3C_4 .

Nakon toga približimo zavojnicu dip-metra zavojnici L_3 . Ona mora, zajedno s kapacitetima kondenzatora C_2 i C_3 , resonirati na frekvenciju f_1 (vidi tablicu).

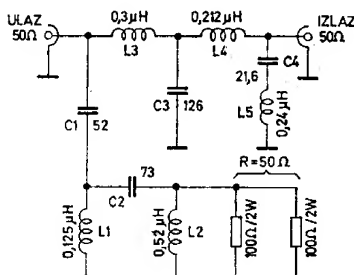
Zatim ćemo *izvaditi* zavojnicu L_3 ukloniti kratke spojeve na koaksijalnim priključnicama i zalemiti zavojnice L_2 i L_4 na njihova mjesta u filteru. Titrajni krug koji je tada sastavljen od L_1 , L_2 , C_1 i C_2 treba mijenjajući induktivitet zavojnice L_2 (ne diraj L_1 !) ugoditi na frekvenciju f_2 , navedenu u tablici. Isto treba postići na drugoj strani filtera mijenjajući induktivitet zavojnice L_4 koja za vrijeme toga ugađanja leži u titrajnom krugu C_3 , L_4 , L_5 , C_4 . Pri tome zavojnicu L_3 koja je bila ranije ugođena ne smijemo dirati!

Konačno možemo zavojnicu L_3 staviti ponovo u filter. On je ispravno ugođen i pripremljen za upotrebu, ako sada dip-metar, približen bilo kojoj zavojnici filtera, pokazuje jasnu resonanciju koja je vrlo blizu graničnoj frekvenciji.

Zavojnicu manje ima filter na sl. 22-7. Moguće ga je načiniti za izlazne snage predajnika i do 2 kW vršne snage (PEP). Kondenzatori C_1 i C_3 imaju po 50 pF i — za tako veliku snagu — moraju biti načinjeni za radni napon do 5 kV. To su redovito specijalni keramički kondenzatori, kao i C_2 . Ovaj se može sastaviti od dva kondenzatora po 75 pF, također za napon od 5 kV.



Sl. 22-7. Niskopropusni filter za sve kratkovalne opsege može se sagrađiti i za najjače amaterske radio-stanice. Vidi tekst



Sl. 22-8. Dvodijelni filter za kratke valove, sastavljen od niskopropusnog i viskopropusnog dijela. Granična frekvencija mu je oko 40 MHz. Viskopropusni dio filtera je zaključen otporom od 50 Ω ($2 \times 100 \Omega / 2$ W, paralelno!). Tu se energija nepoželjnih viših frekvencija, koje bi mogle smetati televizorima, pretvaraju u toplinu. Vidi tekst

Zavojnice L_1 i L_4 imaju po 4 zavoja bakrene žice, debele 2 mm, namotane sa unutrašnjim promjerom 12,5 mm. Dužina zavojnica neka bude također 12,5 mm.

L_2 i L_3 su zavojnice od po 7 zavoja. Namotane su jednako kao L_1 i L_4 . Razlika je u dužini zavojnice koja za L_2 i L_3 mora biti po 25 mm. Filter se ugrađuje u limeni oklop sa pregradama, prema sl. 22-7. Može se upotrebiti u čitavom kratkovalnom opsegu od 1,8 do 30 MHz (160 do 10 m), uz koaksijalni antenski kabel od 50 Ω.

Filter na sl. 22-8 također ima u svom sastavu *niskopropusni dio*.

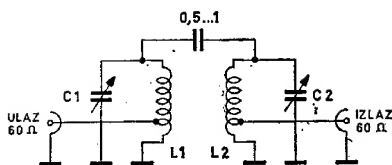
Taj se nalazi između ulazne i izlazne priključnice. Granična frekvencija mu je oko 40 MHz, uz označene kapacitete i induktivitete. Paralelno sa nispopropusnim dijelom filtera je spoj i *visokopropusni dio* (na slici dolje!). Iza tog visokopropusnog PI-filtera ($L_1/C_2/L_2$) priključen je neinduktivni otpornik R od 50 Ω . Zadatak mu je da se u njemu sva visokofrekventna energija nepoželjnih harmoničkih oscilacija pretvori u toplinu. Za predajnike kojima izlazna snaga ne prelazi 300 W (PEP) dovoljno je na to mjesto staviti dva dvovatna otpornika od po 100 Ω .

Zanimljiv je i »poluvalni« filter, sl. 22-12, koji se može načiniti za KV kao i za UKV opsege. Opis i podaci su na str. 730.

Filteri za UKV predajnike

Radio-amaterske UKV stanice mogu također smetati. I one smiju emitirati samo one frekvencije koje su unutar određenog, npr. dvometarskog opsega. Veliku pomoć pri uklanjanju televizijskih smetnja, prouzročenih dvometarskim odašiljačima, pružaju selektivni UKV filteri.

Selektivni UKV filter za dvometarske predajnike manjih snaga možemo načiniti pomoću dva titrajna kruga (sl. 22-9). Zavojnice L_1 i L_2 imaju po 5 zavoja, namotanih na promjeru od 10 mm, žicom CuL ili CuAg, debelom 1,5 mm. Zavojnice treba montirati u međusobnoj udaljenosti od 20 mm. Promienljivi kondenzatori C_1 i C_2 služe za ugađanje na resonanciju. Njihov maksimalni kapacitet je 12 pF. Ulazna i izlazna koaksijalna priključnica filtera spojene su na odvojke iza prvog zavoja na jednoj i na drugoj zavojnici. Ukoliko bi filter bio previše selektivan pa propuštao samo jedan dio dvometarskog opsega, može se na »vrućem« kraju titrajnih krugova dodati malen kapacitet za povećanje među-



Sl. 22-9. Shema UKV bundfiltera za opseg od 144 do 146 MHz. Podaci u tekstu

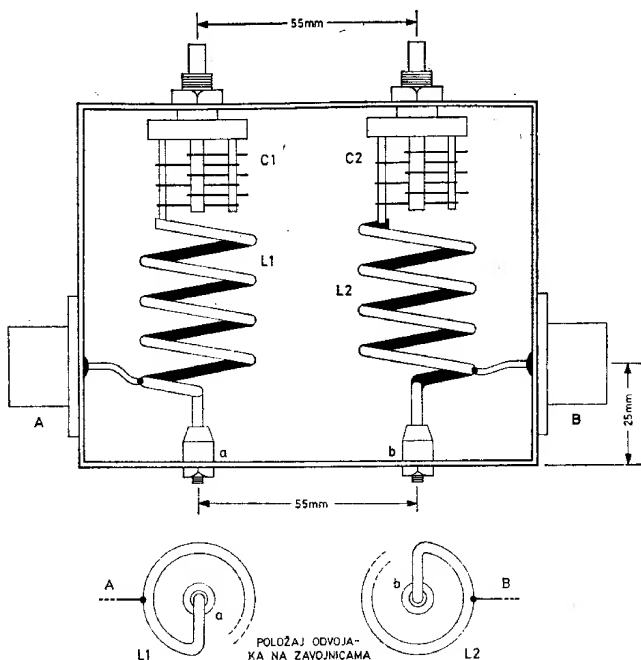
sobne veze. Njegova vrijednost će biti između 0,5 i 1 pF; izuzetno malo više.

Za predajnike koji rade u istom opsegu (144 do 146 MHz) a imaju veću izlaznu snagu (15 do 100 W) može se načiniti filter prema sl. 22-10. Sličan je predašnjemu. Sastoji se od dva titrajna kruga (L_1/C_1 i L_2/C_2). Oni su u međusobnoj induktivnoj vezi koja je malo jača od kritične, tako da obuhvati čitav dvometarski opseg. Ako je ispravno načinjen, u tome se filteru gubi samo oko 0,4 dB snage.

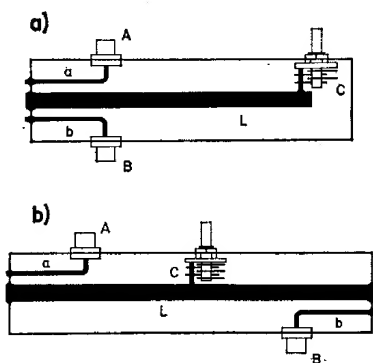
Filter je ugrađen u limenu kutiju ču veličine $12 \times 9,5 \times 5$ cm. C_1 i C_2 su kvalitetni trimeri, kapaciteta do 10 ili 12 pF, sa zračnom (vazdušnom) izolacijom. Zavojnice imaju oblik kao na slici. Svaka ima po četiri puna zavoja, uz dodatak za učvršćenje (kod a i b). Za motanje zavojnica treba uzeti čvrst valjak promjera 20 mm, tako da — kada se s valjka skine gotova zavojnica — unutrašnji promjer zavoja bude 22,5 mm. U tu se svrhu može upotrebiti bakarna žica (lakirana ili — bolje — posrebrena) debljine 3 mm. Odvojci za priključak na koaksijalne priključnice A i B (za impedanciju od 50 Ω) treba načiniti prema skici na sl. 22-10, dolje.

Filter se ugađa na *maksimalan »izboj«* snage u antenu, uz *minimalan SWR* u vodu između predajnika i filtera.

Vrlo dobar filter se, za dvometarski UKV opseg, može načiniti u obliku četvrtvalnog, koaksijalnog resonatora, prema sl. 22-11. On je smješten u limenu kutiju koja je



Sl. 22-10. Dvometarski bandfilter za UKV predajnike do 100 W. Podaci i opis u tekstu



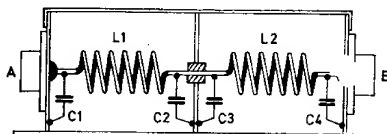
Sl. 22-11. Koaksijalni resonantni filteri: a) četvrtvalni filter koji se najčešće gradi za dvometarske frekvencije; b) poluvalni filter. Zbog svojih dimenzija češće se gradi za sedamdeset-centimetarski amaterski opseg. Vidi tekst

dugačka 30 cm. Presjek kutije je kvadratičan: $6,5 \times 6,5$ cm. Usred kutije je smješten komad bakrene cijevi, dug 25 cm, promjera 10 do 12 mm. Jednim je krajem učvršćen na jednu bočnu stranicu, dok je drugim krajem zalemljen na stator promjenljivog kondenzatora koji je smješten u blizini druge bočne stranice. Promjenljivi kondenzator ima maksimalni kapacitet od 15 do 18 pF. Pomoću njega se četvrtvalni resonator može ugoditi na radnu frekvenciju UKV odašiljača. Dvije koaksijalne priključnice montirane su po 9 cm od uzemljenog kraja četvrtvalnog resonatora. Na ove koaksijalne priključnice treba spojiti po jednu 2 mm debelu žicu (CuL ili CuAg). Ove žice sežu od dna kutije, idu u razmaku od 3 do 3,5 mm paralelno uz bakrenu cijev resonatora da konačno budu za-

lemljene na srednjem kontaktu koaksijalnih priključnica. Jedna od njih je ulazna, druga je izlazna priključnica za antenski koaksijalni kabel. Kutiju treba zatvoriti limenim poklopcem.

Za više frekvencije, npr. za UKV opseg od 432 MHz (70 cm), bolje je sličan filter načiniti prema sl. 22-11b. U limenoj kutiji koja je dugačka 25 cm, s kvadratičkim presjekom od 5×5 cm, nalazi se »poluvalni« resonator. Načinjen je od bakrene cijevi, promjera oko 8 mm, smještene tako da prolazi sredinom kutije, od kraja do kraja, gdje je zalemljena. Dužina joj je, prema tome 25 cm. To je premalo za polovinu dužine vala. Zato je upravo na sredini, tamo gdje se očekuje »trbuh« VF titraja, prilemljen stator promjenljivog kondenzatora C (maks. 5 do 6 pF) kojim se filter dovodi u resonanciju na radnoj frekvenciji predajnika. Koaksijalni konektori A i B montirani su po 35 mm od lijevog i od desnog dna (vidi skicu!). Obje petlje a i b su načinjene od žice, debele 2 mm. Postavljene su paralelno sa srednjim vodom L , 2 mm od njega.

Pod imenom »poluvalni filter« poznata je i drukčija konstrukcija,



Sl. 22-12. Simetrični »poluvalni« filter. Može se načiniti za bilo koje kratkovalno ili UKV područje frekvencija $A = B =$ koaksijalne priključnice. Opis u tekstu. Podaci su na tablici 22-2

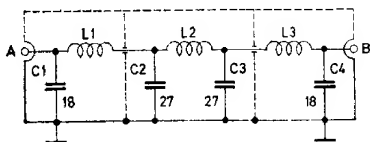
kao na sl. 22-12. Tu su, zapravo, udružena dva »PI-filtera«: $C_1/L_1/C_2$ i $C_3/L_2/C_4$. Takav filter resonira samo na frekvencije *jednog užeg opsega*. Zato se svaki amaterski opseg treba načiniti zaseban filter. Vrijednosti kondenzatora i podaci za gradnju zavojnica su na tablici 22-2. Kad smo prema tim podacima načinili zavojnice i sve ugradili u odgovarajuću limenu kutiju sa pregradom u sredini i koaksijalnim priključnicama na »ulazu« i na »izlazu«, treba filter ugoditi na resonanciju usred željenog opsega.

U tu svrhu treba u filteru onaj vod koji prolazi kroz srednju pregradu (između L_1 i L_2) privremeno kratko spojiti s tom pregradom. Mijenjanjem dužine zavojnice, raz-

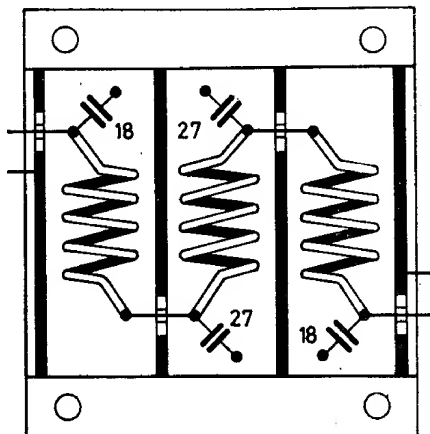
Tablica 22-2. Kondenzatori i zavojnice za »poluvalni« filter, prema sl. 22-12

Amaterski opseg (MHz)	Kapacitet kondenzatora (pF)	Induktiv. (μ H)	Zavojnice L_1 i L_2			
			Broj zavoja	Dužina (mm)	Promjer (mm)	Žica \varnothing (mm)
3,5	850	2,1	13	27	25	2
7	440	1,1	8	17	25	2
14	220	0,55	7	15	19	2
21	150	0,37	8	17	12,5	2
28	110	0,28	6	13	12,5	2
144	18	0,07	3	*)	12	1,5

*) Induktivitete (i dužine) zavojnica treba odrediti ugađajući filter dip-metrom (GDM), vidi tekst.



Sl. 22-13. Tročlani niskopropusni filter za 144 do 146 MHz. Treba ga graditi prema sl. 22-14



Sl. 22-14. Filter prema sl. 22-13, gradi se tako da njegove tri zavojnice dođu svaka u svoj pregradak, zajedno sa pripadajućim kondenzatorima. Vidi tekst

micanjem ili primicanjem njenih zavoja, treba postići da *dip-metar* pokaže resonanciju na odabranoj frekvenciji; najprije za L_1 , a onda za L_2 . Kad je to postignuto, kratak spoj se ukloni i filter je ugođen.

Prigušenje na radnoj frekvenciji je zanemarljivo, ali doseže oko 30 dB za drugu, oko 48 dB za treću, oko 60 dB za četvrtu i oko 67 dB za petu harmoničku frekvenciju, ili oko 30 dB za svaku oktavu!

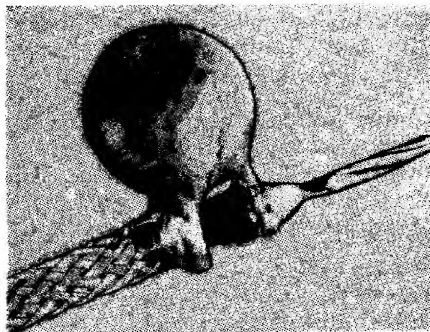
Još veće prigušenje viših harmoničkih frekvencija može se postići samo sa filterima koji imaju više »članova«. Tročlani niskopropusni filter, kako ga proizvodi tvornica »PYE Telecommunications«, a koji

si amateri mogu sagraditi za svoje potrebe shematski je prikazan na sl. 22-13, dok se njegov izgled može vidjeti na crtežu, sl. 22-14. Filter vrijedi za amaterski *dvometarski* opseg i za snage do 25 W, ukoliko su kondenzatori sa izolacijom od tinjca (liskuna, mika) i za radni napon oko 250 V. Ako se upotrebe keramički kondenzatori za veće radne napone, filter će podnijeti i veće snage.

Budući da je sl. 22-14 u naravno*j* veličini, filter se može graditi onako, kako je nacrtan. Pregrade između zavojnica su, razumljivo se, načinjene iz lima. Najbolji je, svakako, *posrebre*ni bakar. Amateri se mogu poslužiti i aluminijem, ali onda neka pregrade budu široke toliko, koliko iznosi dvostruki promjer zavojnica.

Oklapanje radio-uređaja

Moderni kratkovalni uređaji, predajnici i primopredajnici, redovito imaju oklopljeni izlazni stupanj. Ovakvo oklapanje sprečava »divlju« emisiju radio-energije. Sve što se emitira odlazi na koaksijalnu priključnicu i preko koaksijalnog kabela na antenu. Čitav radio-ure-



Sl. 22-15. Oklopljeni vod za spojeve unutar predajnika, blokiran malim, pločastim keramičkim kondenzatorom. Dimenzije su na slici skoro tri puta veće nego u naravi

đaj je zbog istih razloga dobro ugraditi u limenu, uzemljenu kutiju. Oklopljeni odašiljač znatno manje smeta od onih koji su građeni »otvoreno«.

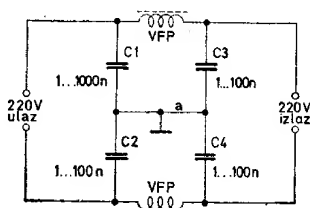
Povrh toga, već kod same gradnje moramo nastojati da nam visokofrekventne struje ne mogu otići nekontroliranim putevima. Dobra je praksa da se iz ispravljača svi vodovi za struje napajanja vode oklopljenim žicama. Takva žica mora svojim vanjskim okloпом na više mjesta biti spojena sa šasijom. Na svom početku i na kraju ona mora biti »blokirana« pogodnim kondenzatorom, kao na sl. 22-15. Dovoljan je kapacitet od 1 nF. Kondenzator mora biti zalemljen na vanjski oklop i na unutrašnju žicu tako da je smješten tijesno uz zalemljena mjesta. Ovo se osobito preporučuje kod gradnje jačih UKV davača, namijenjenih za stacionarnu upotrebu uz priključak na električnu mrežu.

ZASTITNE MJERE KOD SUSJEDA

Radio-prijemnici i NF pojačala

Uklanjanje smetnja na njihovom izvoru je prvo što treba načiniti, ako se kod susjedovog radio-prijemnika pojave bilo kakve poteškoće za vrijeme rada naše radio-stanice. Kad smo ispitali i načinili sve što je gore opisano, a smetnje još uvijek postoje, moramo razmisliti o tome kakve bi se zaštitne mjere mogle poduzeti i kod susjeda.

Sve poteškoće dolaze tada od pretjeranog prodora nepoželjnih visokofrekventnih struja u radio-aparat. Većina današnjih radio-prijemnika nisu spojeni sa antenom. Priključuje se samo zemljovod u obliku tanke žice koja je spojena sa vodovodom. Visokofrekventni signali srednjevalnih i kratkovalnih radio-fonijskih stanica »ulaze« onda preko električne mreže. Za prijem FM-programa obično služi ugrađen dipol. Tim putem, kao i



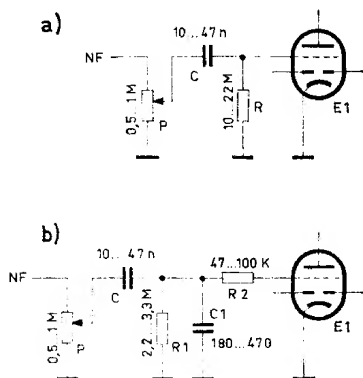
Sl. 22-16. Ovakav filter, uključen u dovod električne izmjenične struje za pogon televizora, može spriječiti prodor neželjenih visokih frekvencija iz električne mreže. Veličine visokofrekventnih prigušnica (VFP) i kondenzatora je najbolje odrediti strpljivim eksperimentiranjem. Radni napon kondenzatora mora biti 1000 V (ispitni napon barem 3000 V)

onda ako je priključena neka mala sobna »antena«, signali su razmjerno slabi ali većina ljudi se ionako zadovoljava slušanjem emisija lokalnih i najbližih stanica.

Amaterska radio-stanica, koja se nalazi u neposrednoj blizini, inducira u svim okolnim metalnim predmetima prilično jake visokofrekventne struje. Tako i u susjednim radio-aparatima.

U prvom redu treba spriječiti prodiranje VF struja iz električne mreže. Za tu svrhu može se između prijemnika i električne mreže staviti filter prema sl. 22-16. Tada će redovito i prijem ostalih signala postati slabiji. Zato će biti potrebno postaviti posebnu, ne predugačku prijemnu antenu. Ovu antenu treba postaviti što dalje od emisione antene amaterske radio-stanice i montirati je tako da smjer jedne antene bude okomit na smjer druge. U slučaju potrebe može se za antenski dovod od prijemne antene do radio-aparata upotrebiti oklopljeni, koaksijalni kabel.

Ukoliko se poslije svega ovoga, što smo najsvesnije načinili, još uvijek čuju smetnje, osobito ako je njihova pojava neovisna o tome na koji valni opseg je uključen prijemni aparat i neovisna o položaju



Sl. 22-17. Otklanjanje smetnja koje nastaju prodorom visoke frekvencije do mrežice prvog niskofrekventnog pojačala u radio-prijemnicima, televizorima i niskofrekventnim pojačalima: a) ulazni strujni krugovi niskofrekventnog stupnja koji je o-sjetljiv na smetnje; b) potrebne pre-inake i dodaci. Objašnjenje u tekstu

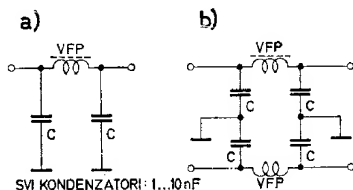
kazaljke na njegovoj skali, onda možemo smatrati sigurnim da smetnje nastaju u niskofrekventnom dijelu radio-aparata. Jednake smetnje mogu se pojaviti i kod različitih niskofrekventnih pojačala, kod magnetofona, kao i u niskofrekventnom dijelu televizora.

Za ovu vrstu smetnja su najosetljiviji oni prijemnici koji za demodulaciju i za prvo niskofrekventno pojačanje imaju cijevi EABC 80, PABC 80, ili UABC 80, ili bilo koju drugu cijev koja svoj radni prednapon postiže odvodnim otpornikom od 10 do 22 MΩ, kao na sl. 22-17a. Snažni signal blize radio-amaterske stanice, koji amo dođe tko zna kojim putevima, ovdje se demodulira i smetnja je neizbježiva. Ona se javlja posve neovisno o radnoj frekvenciji.

Da se ovakve smetnje uklone potrebno je da naš susjed pristane na izvršenje malih preinaka u ovom dijelu radio-aparata. Radio-amater koji je siguran da će tu »operaciju« dobro i uredno izvršiti

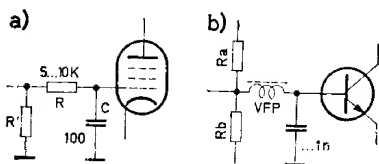
može svome susjedu reći da će to vrlo dobro i *besplatno* napraviti. Susjed će pristati, ali samo onda ako je stekao povjerenje. Ako se i najmanje koleba da nam taj posao povjeri, neka svoj aparat dade onome, kome on sam želi, dakako, na naš trošak! Evo, što treba načiniti: odvodni otpornik R (sl. 22-17a) treba zamijeniti manjim otpornikom R_1 koji ima najviše 2,2 do 3,3 MΩ (sl. 22-17b). Paralelno ovom otporniku mora se dodati kondenzator C_1 koji ima zadaću da visokofrekventne struje odvede prema uzemljenoj šasiji. U seriju sa priključkom mrežice dolazi otpornik R_2 . On predstavlja, zajedno s kapacitetom mrežice u samoj cijevi, dodatni VF filter. Označene vrijednosti redovito vode uspješnom odstranjenju opisanih smetnja. U pojedinom slučaju će možda biti potrebno R_1 nešto smanjiti, a C_1 i R_2 još nešto povećati. Utjecaj dodatnih dijelova na boju tona i na kvalitetu reprodukcije tako je malen da većina ljudi uhom ne zamjećuje razliku.

Prodiranje amaterskih KV ili UKV signala preko antenskog voda može se uspješno spriječiti dodatkom različitih »valolovki«, »stupica« i filtera, kao što su oni koje ćemo kasnije opisati, a namijenjeni su uklanjanju takvih smetnja kod televizora.



SVI KONDENZATORI: 1...10 nF

Sl. 22-18. U savremena niskofrekventna »HI-FI« pojačala visokofrekventne smetnje od susjednih predajnika mogu ući i preko mikrofonskih kabela, kao i preko žica kojima su priključeni zvučnici. Smetnje se mogu otkloniti ovakvim filterima. Vidi tekst



Sl. 22-19. Zaštita niskofrekventnih pojačala od prodora smetnja visoke frekvencije: a) kod elektronskih cijevi; b) kod tranzistora

Moderni stereo-prijemnici, proizvedeni u solidnim tvornicama, imaju već ugrađenu »obranu« od prodora nepoželjnih frekvencija. Ipak se može dogoditi da visokofrekventni signali od neke snažnije amaterske radio-stanice prodru u uređaj *putem priključnih kabela* za gramofon, za mikrofoni ili za zvučnike. Pojava smetnja može se ukloniti samo tako da se, *neposredno uz same priključnice*, ugrade filteri. Dva tipa takvih filtera vidimo na sl. 22-18. Visokofrekventne priključnice moraju odgovarati frekvenciji koja smeta. I kondenzatore treba odabrati pažljivim »probajem«, sve dok se postigne željeni uspjeh. Označene vrijednosti vrijede za niskoomske priključke. Ako se radi o visokoomskim priključcima kapaciteti moraju biti manji.

Nekad će biti potrebno da se *tijesno uz prvi stupanj* takvih pojačala ugradi filtracija, prikazana na sl. 22-19.

Televizori

Naše televizijske programe možemo primati na tzv. kanalima koji su popisani na tablici 22-3. Na kanalima broj 2, 3 i 4 radi samo manji broj relejnih stanica. Najveći broj televizijskih stanica emitira svoj prvi program na kanalima od broja 5 do 12.

Tzv. drugi program televizije obično je emitiran na kanalima s brojem od 21 do 60.

Svaki je kanal širok 7 MHz. Za prenos slike postoji poseban, amplitudno modulirani val nosilac. Ton se prenosi frekventnom modulacijom pomoću vala nosioca kojemu je frekvencija za 5,5 MHz viša od frekvencije vala nosioca za sliku.

Signal slike i signal tona primaju se zajedno. U prvom stupnju za miješanje sve se zajedničkim oscilatorom transponira u prvo međufrekventno pojačalo tako da se val nosilac slike nađe na 38,9 MHz a val nosilac tona na 33,4 MHz. Prvo međufrekventno pojačalo propušta opseg frekvencija koji je širok 7 MHz, od 33,15 do 40,15 MHz. Iza demodulacije ovog kompleksnog signala odvaja se signal slike. Osim toga ovdje nastaje i nov val nosilac tona kojemu je frekvencija jednaka 5,5 MHz, tj. razlici između frekvencija slike i tona. Taj novi val nosilac ostaje i dalje frekventno moduliran, pojačava se posebnim »tonskim« međufrekventnim pojačalom, demodulira i dalje pojačava u niskofrekventnom pojačalu.

Smetnje se mogu pojaviti u svim stupnjevima televizora.

Razumije se, najprije treba spriječiti stvaranje parazitskih i viših harmoničkih frekvencija u samom predajniku, zatim spriječiti prodor visokih frekvencija u električnu mrežu, kao i njihov prodor iz električne mreže u televizor.

Dugačak *dvojni plosnati vod* koji spaja televizijsku antenu s prijemnikom također može iz prostora nakupiti mnogo visokofrekventne energije koja može smetati. Zato ćemo, u nekim slučajevima, morati da plosnati dvojni vod susjedove TV antene o svom trošku zamijenimo koaksijalnim kabelom. Tada moramo kod priključaka kabela na antenu, kao i za njegov priključak na televizor, upotrebiti »balun« koji možemo načiniti po uzoru na takve balune za amaterske UKV antene, ukoliko već ne postoje koaksijalne priključnice. Dimenzije baluna za prijem određenog TV

Tablica 22-3. Pregled frekvencija televizijskih kanala*)

Grupa	Kanal broj	Zauzima opseg (MHz)	Frekvencija vala nosioca	
			slike (MHz)	tona (MHz)
I	2	47 ... 54	48,25	53,75
	3	54 ... 61	55,25	60,75
	4	61 ... 68	62,25	67,75
III	5	174 ... 181	175,25	180,75
	6	181 ... 188	182,25	187,75
	7	188 ... 195	189,25	194,75
	8	195 ... 202	196,25	201,75
	9	202 ... 209	203,25	208,75
	10	209 ... 216	210,25	215,75
	11	216 ... 223	217,25	222,75
	12	223 ... 230	224,25	229,75
IV	21	470 ... 478	471,25	476,75
	22	478 ... 486	479,25	484,75
	23	486 ... 494	487,25	492,75
	24	494 ... 502	495,25	500,75
	25	502 ... 510	503,25	508,75
	26	510 ... 518	511,25	516,75
	27	518 ... 526	519,25	524,75
	28	526 ... 534	527,25	532,75
	29	534 ... 542	535,25	540,75
	30	542 ... 550	543,25	548,75
	31	550 ... 558	551,25	556,75
	32	558 ... 566	559,25	564,75
	33	566 ... 574	567,25	572,75
	34	574 ... 582	575,25	580,75
	35	582 ... 590	583,25	588,75
	36	590 ... 598	591,25	596,75
	37	598 ... 606	599,25	604,75
V	38	606 ... 614	607,25	612,75
	39	614 ... 622	615,25	620,75
	40	622 ... 630	623,25	628,75
	41	630 ... 638	631,25	636,75
	42	638 ... 646	639,25	644,75
	43	646 ... 654	647,25	652,75
	44	654 ... 662	655,25	660,75
	45	662 ... 670	663,25	668,75
	46	670 ... 678	671,25	676,75
	47	678 ... 686	679,25	684,75

Grupa	Kanal broj	Zauzima opseg (MHz)	Frekvencija vala nosioca	
			slike (MHz)	tona (MHz)
V	48	686 ... 694	687,25	692,75
	49	694 ... 702	695,25	700,75
	50	702 ... 710	703,25	708,75
	51	710 ... 718	711,25	716,75
	52	718 ... 726	719,25	724,75
	53	726 ... 734	727,25	732,75
	54	734 ... 742	735,26	740,75
	55	742 ... 750	743,25	748,75
	56	750 ... 758	751,25	756,75
	57	758 ... 766	759,25	764,75
	58	766 ... 774	767,25	772,75
	59	774 ... 782	775,25	780,75
	60	782 ... 790	783,25	788,75
	61**)	790 ... 798	791,25	796,75
	62	798 ... 806	799,25	804,75
	63	806 ... 814	807,25	812,75
	64	814 ... 822	815,25	820,75
	65	822 ... 830	823,25	828,75
	66	830 ... 838	831,25	836,75
	67	838 ... 846	839,25	844,75
	68	846 ... 854	847,25	852,75

*) Prema CCIR-normi (CCIR= *Comité Consultatif International Radiocommunication*; Međunarodni savjetodavni odbor za radio-veze) koja vrijedi i za Jugoslaviju.

**) Frekvencije iznad 790 MHz koriste se i za druge veze.

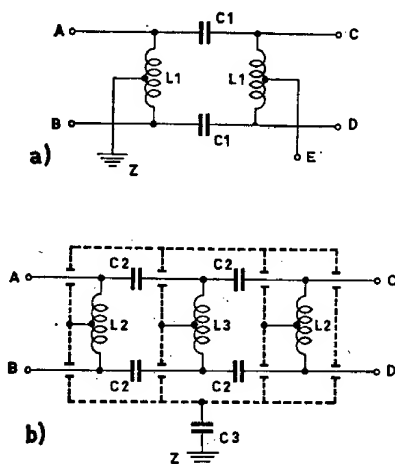
kanala nije teško izračunati uz pomoć podataka na tablici 22-3.

Filteri, kojima se može spriječiti prodiranje neželjenih visokih frekvencija u televizor, nacrtani su na sl. 22-20.

Filter na sl. 22-20a vrijedi za dvojne vodove od 240 ili 300 Ω . Treba ga montirati što bliže antenskim priključnicama televizora. A i B spaja se na dvojni vod ili na krajeve baluna (ako je antenski dovod načinjen koaksijalnim kablom). C i D priključuje se na televizor. Kondenzatori C_1 imaju po 10 pF. Zavojnice L_1 imaju po 8 zavoja žice 1,5 mm, CuL. Promjer svake zavojnice je 20 mm, a dužina 25 mm. Odvojak je u sredini zavoj-

nice. Priključnica E spaja se sa šasijom televizora, dok je slovom Z označeno direktno uzemljenje. Šasija televizora se ne smije direktno uzemljiti, jer je u direktnoj vezi sa električnom mrežom! Ovaj filter propušta frekvencije svih naših televizijskih kanala, zadržavajući sve kratkovalne frekvencije.

Bolji je tročlani filter (sl. 22-20b). Kondenzatori C_2 imaju po 20 pF. Zavojnice L_2 možemo namotati žicom CuL, debelom 0,25 mm. Promjer zavojnice može biti 3 do 3,5 mm sa ukupno 40 zavoja, montanih jedan uz drugi. Zavojnicu L_3 možemo namotati na jednak način. Ona ima 22 zavoja. Sve zavojnice imaju odvojak u sredini. Čitav fil-

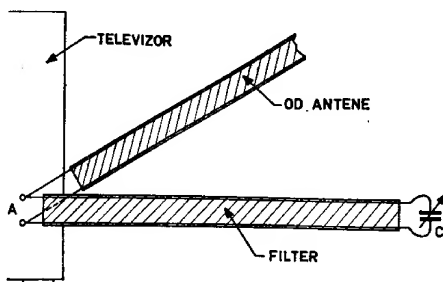


Sl. 22-20. Tri vrste filtera koji se stavljaju u antenski dovod televizora, ako su sa svojom antenom povezani putem dvojnog plosnatog kabela. Vidi tekst

ter dolazi u oklop i stavlja se tijesno uz antenske priključnice televizora. A i B spaja se na antenski vod, a C i D na televizor.

Ukoliko bi smetnje bile prouzročene samo jednom, određenom frekvencijom, onda treba u antenski vod uključiti filtere koji su načinjeni upravo za nju (sl. 22-20c). Titrajne krugove L_4C_4 moramo dovesti u resonanciju sa frekvencijom koja smeta.

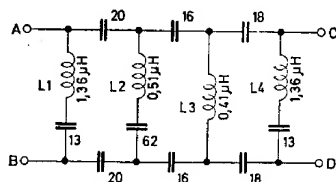
Za potiskivanje određene frekvencije iz UKV područja dobro će poslužiti i jednostavni filteri, načinjeni u obliku četvrtvalnih resonatora. Jedan takav UKV filter je na



Sl. 22-21. Filter protiv smetnja određenom frekvencijom iz UKV područja. Montira se na televizor. Opis u tekstu

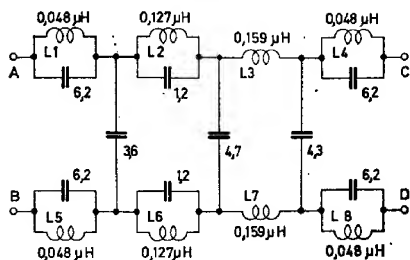
sl. 22-21. Na antenske priključnice A televizora spojen je dvojni vod koji dolazi od antene. Na iste priključnice se dodaje komad istovrsnog antenskog dvojnog voda. Dužina mu mora biti malo kraća od četvrtine vala. Pri tome ne smijemo zaboraviti da u račun uzmemo i faktor skraćivanja za tu vrstu dvojnog voda. Malen trimmer dovodi četvrtvalni filter u resonanciju. Resonancija je postignuta kad intenzitet smetnja postane najmanji.

Iako su danas moderniji televizori predviđeni za priključak antene preko koaksijalnog kabela, ima još onih starijih koji su sa svojim antenama spojeni dvojnim plosnatim vodovima. Njihova je karakteristična impedancija 240 do 300 Ω . Za takve slučajeve će radio-amateru dobro doći i sheme na sl. 22-22, sl. 22-23 i sl. 22-24. To su filteri koje

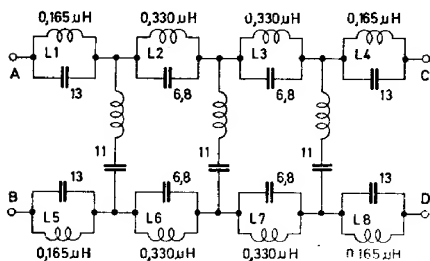


Sl. 22-22. Visokopropusni televizijski filter za dvojni plosnati antenski vod impedancije oko 240 Ω . Granična frekvencija je 47 MHz. Stiti od svih nižih frekvencija

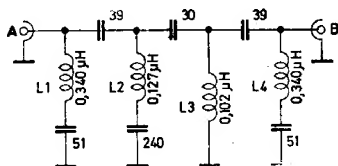
inače proizvodi tvornica »AEG-Telefunken«, ali ih amater može graditi za svoje potrebe. Sve potrebne



Sl. 22-23. Niskopropusni televizijski filter za dvojni plosnati antenski vod impedancije oko 240 Ω. Granična frekvencija je 240 MHz. Štiti od frekvencija koje su više od granične



Sl. 22-24. Band-filter za televizijski plosnati antenski dvožilni kabel impedancije oko 240 Ω. Prigušuje frekvencije u opsegu između 70 i 170 MHz, gdje rade brojne radio-stanice različitih službi kao i amateri na svome dvometarskom valu



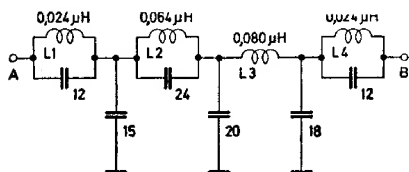
Sl. 22-25. Visokopropusni televizijski filter za koaksijalne antenske kabele impedancije oko 60 Ω. Granična frekvencija je 47 MHz. Odgovara filteru na sl. 22-27

električne vrijednosti su napisane na tim shemama.

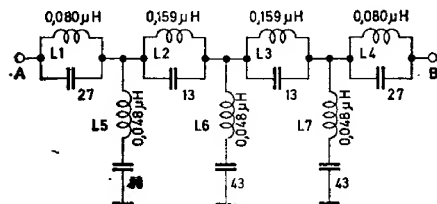
Slična svojstva imaju i filteri koji su predviđeni za upotrebu uz koaksijalne antenske vodove sa impedancijama oko 60 Ω. Također ih izrađuje »AEG-Telefunken«. Prikazani su na sl. 22-25, sl. 22-26 i sl. 22-27. Potrebni podaci su napisani na slikama.

Svi filteri za uklanjanje smetnja moraju biti ugrađeni u limenu, oklopnu kutiju. Na njoj moraju biti montirane priključnice tako da televizijski signal, na svom putu od antene do televizora, prođe kroz filter. Sam filter mora biti postavljen što je moguće bliže televizoru.

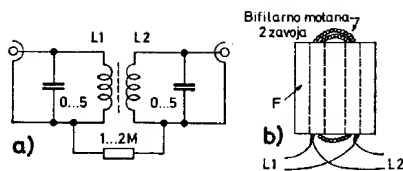
Od snažnije amaterske radio-stanice, koja se nalazi u blizini, mogu smetnje u televizor doći još jednim putem! To je indukcija u vanjskom opletu koaksijalnog kabela, osobito onda, kad je dužina kabela (koji je u vezi s televizorom) takva da dolazi do resonancije na frekven-



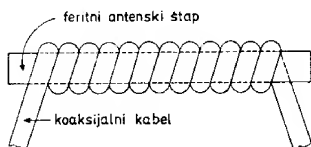
Sl. 22-26. Niskopropusni televizijski filter za koaksijalne antenske kabele impedancije oko 60 Ω. Granična frekvencija je 240 MHz. Odgovara filteru na sl. 22-23



Sl. 22-27. Bandfilter za televizijski koaksijalni kabel impedancije oko 60 Ω. Prigušuje frekvencije u opsegu između 70 i 170 MHz. Odgovara filteru na sl. 22-24



Sl. 22-28. Uređaj protiv smetnji koje bi mogle izazvati visokofrekventne struje, ako stižu uzduž vanjskog opleta koaksijalnog kabela: a) shema; b) transformator sa feritnom jezgriцом F na kojoj su zavojnice L_1 i L_2 veoma tijesno vezane. Vidi tekst



Sl. 22-29. Antenski koaksijalni kabel, namotan na feritnom antenskom štapu, također može poslužiti kao sredstvo protiv VF struja na vanjskom opletu koaksijalnih kabela

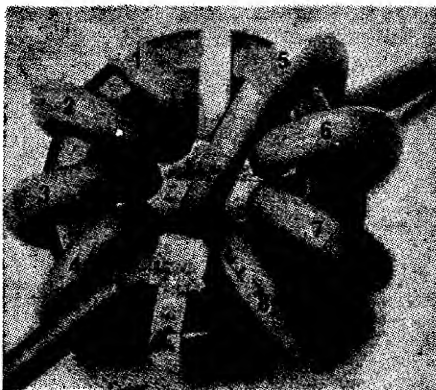
ciju signala amaterske stanice. U takvom slučaju je potrebno spriječiti da ovakve inducirane visokofrekventne struje dođu u televizor. To se postiže na više načina.

Jedan način je da se prekine koaksijalni kabel (sl. 22-28) a televizijski signal da se dalje vodi putem transformatora L_1/L_2 . Transformacija je tu 1 : 1, a postiže se razmjerno jednostavno. Feritna jezgrića (F), ona koja ima dvije paralelne rupice (sl. 22-28b) osnova je za takav transformator. Lakiranu bakrenu žicu (promjer 0,1 do 0,3 mm) najprije bifilarno usučemo i onda namotamo samo dva zavoja. Pomoću om-metra lako ustanovimo koji krajevi žice pripadaju jednoj a koji drugoj zavojnici. Treba pokušati da li se dodatkom kondenzatora (do 5 pF), paralelno sa zavojnicama, postiže neka (široka) resonancija. Otpornik od 1 do 2 MΩ spaja »hladne« krajeve filte-

ra sprečavajući da VF-struje koje dolaze po opletu kabela stignu do televizora. Ponekad se jednak uspjeh može postići i tako, da se koaksijalni kabel više puta (probati!) omota oko feritnog štapa koji inače služi kao »antena« za prenosne radio-aparate. Induktivitet koji tako nastaje može zaustaviti visokofrekventne struje koje stižu uzduž vanjske strane koaksijalnog kabela (sl. 22-29).

Još bolje će biti ako koaksijalni kabel, umjesto oko feritnog antenskog štapa, namotamo na veći feritni prsten, kao na sl. 22-30. Takva »operacija«, razumije se, ne uspijeva sa kablom normalnog promjera. U tu svrhu treba uzeti komad tanjeg kabela i onda ga s jedne strane koaksijalnom spojnicom spojiti s antenskim kablom, a s druge strane, koaksijalnom utičnicom, sa televizorom. Na slici je brojkama naznačen red kojim treba motati kabel. Tako se postiže da početak i kraj namotaja ne dođu preblizu jedan drugome.

Ako je amaterska radio-stanica sasvim ispravna, ona emitira samo



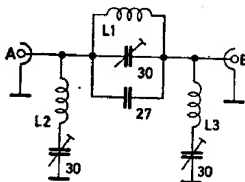
Sl. 22-30. Tanak koaksijalni kabel, namotan na većem feritnom prstenu. Da početak namotaja i njegov kraj ne dođu preblizu jedan drugome, potrebno je motati zavoje onim redom koji je označen brojkama. Vidi tekst

svoju radnu frekvenciju. Ipak se mogu pojaviti smetnje i u najboljem televizoru. Kao konkretan primjer neka posluži iskustvo iz prakse. U televizoru, kod susjeda, javljale su se nepodnošljive smetnje samo onda kada je dvometarska antena našeg radio-amatera bila okrenuta prema anteni televizora. Inače nije bilo problema.

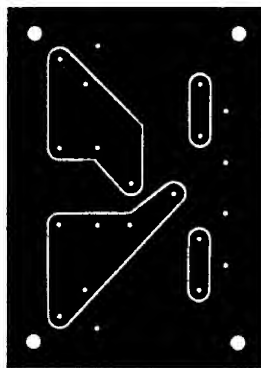
U »običnoj« upotrebi radio-stanice lako se može izbjeći takav smjer antene, ali za vrijeme kontesta kada baš iz tog smjera »dolazi« neki interesantan DX..., šta onda? No, našlo se rješenje!

U takvim je slučajevima jasno, da je uzrok smetnjama u tome što do televizora stiže *prejak* signal iz amaterske dvometarske stanice. Uspijemo li taj dvometarski signal dovoljno oslabiti *prije nego stigne u televizor*, mora smetnja prestati. Jedan od puteva da se to postigne je smanjenje snage predajnika (HI). Drugi je put za amatera koji želi »raditi DX« prihvatljiviji: gradnja i primjena specijalnog filtera, prema LA8AK, za radnu frekvenciju predajnika!

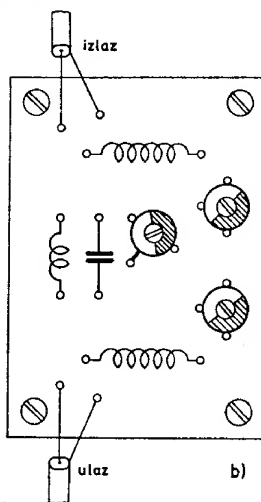
Shema na sl. 22-31 pokazuje da se filter sastoji od titrajnog kruga sa zavojnicom L_1 . Ovaj, ako reso-



Sl. 22-31. »Stop-band-filter« za dvometarske frekvencije. Sastoji se od tri dvometarska titrajna kruga. Onaj sa zavojnicom L_1 je paralelni, dok su preostala dva (sa zavojnicama L_2 i L_3) serijski titrajni krugovi. A i B su koaksijalne priključnice, montirane na limenoj oklopnoj kutiji u koju treba ugraditi ovaj filter



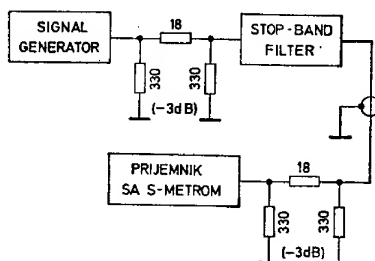
a)



b)

Sl. 22-32. a) Izgled štampane pločice za stop-band-filter; b) raspored dijelova filtera na pločici od kaširanog vitroplasta

nira, predstavlja velik otpor za tu frekvenciju. Postoje još dva serijska titrajna kruga (sa L_2 i onaj sa L_3). Oni, u slučaju resonancije, predstavljaju malen otpor i odvođe visokofrekventnu struju. Tako ona ne stiže do izlazne priključnice. Na sl. 22-32a je izgled štampanih vodova na pločici bakrom kaširanog vitroplasta, veličine 5×7 cm. Drugi crtež (sl. 22-32b) pokazuje razmještaj sastavnih dijelova.



Sl. 22-33. Pregled pribora za ugađanje »stop-band-filtera«, prema LA8AK. Vidi tekst

Želimo li što bolje ugoditi takav filter, prije nego bude postavljen ispred televizora (!), potrebno je postupiti prema sl. 22-33. Naš filter koji treba spriječiti prolaz dvometarskog signala (*»stop-band-filter«*) stavlja se između signal-generatora i dvometarskog prijemnika sa ugrađenim S-metrom. Da se osigura što pravilniji priključak niske impedancije, ispred i iza filtera treba staviti jednostavan attenuator (za -3 dB). Sva tri titrajna kruga treba dovesti u resonanciju usred dvometarskog opsega (na 145 MHz) tako da S-metar prijemnika pokaže *minimum* signala. Ovisno o tome na kojem dijelu dvometarskog područja najčešće radimo, možemo filter ugoditi po volji. Onaj tko pre-

težno radi CW i SSB u opsegu od 144 do 145,5 MHz, taj može titrajni krug sa zavojnicom L_2 ugoditi na 144,0; onaj sa L_1 na 144,25; te onaj sa L_3 na frekvenciju 144,5 MHz. — Za rad na cijelom opsegu dobro je titrajni krug sa L_2 ugoditi na 144,25; sa L_1 na 145,0; te onaj sa L_3 na 145,75 MHz.

Tako ugođen filter *prigušuje* dvometarske signale *najmanje* za 7 do 8 S-jedinica, što je bolje od -40 dB. Ako je filter ugođen samo na jednu frekvenciju, onda on nju prigušuje *bolje* od 9 S-jedinica, a to odgovara vrijednosti između -50 do 60 dB, uz uvjet da je filter dobro načinjen i da je stavljen u limeni oklop.

Tko nema signal-generatora može si pomoći tako da svojim dvometarskim prijemnikom prima signal nekog radio-fara (npr. YU3VHF na Kumu) ili kojeg udaljenijeg repetitora. Ispred prijemnika se stavi filter i njegovi titrajni krugovi ugođe tako da S-metar pokaže najmanji mogući otklon.

Ugođeni »stop-band-filter« stavlja se onda ispred televizora. Ugađanje se više ne smije dirati. Uspjeh je upravo iznenađujući. Uz čist i jasan televizijski prijem smetnja više nema!

SMETNJE OD ELEKTRIČNIH UREĐAJA I STROJEVA

IZVORI SMETNJA

Veliki broj električnih uređaja i strojeva radi u okolini naših radio-uređaja, proizvodeći elektromagnet-ske valove, sve do vrlo visokih frekvencija. Ovi se neželjeni »signali« šire u okolni prostor direktnim zračenjem ili, još češće, kroz vodove električne mreže, stižu do radio-prijemnika i do televizora i pojavljuju se kao *smetnje*.

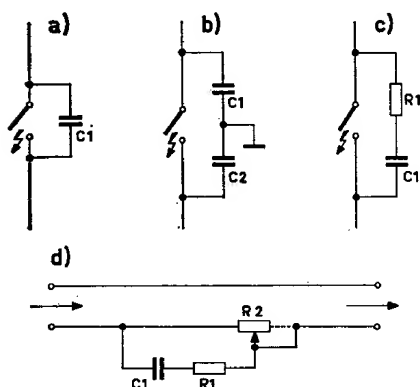
Najčešći izvori smetnja su električne iskre. Uređaji kod kojih se javljaju iskre su, npr.: električno zvonce, aparat za električno zavari-vanje, svi termoregulatori (hlad-njaci, termostati), električna dizala (liftovi), elektromedicinski aparati,

elektromotori sa četkicama, fluore-centne svjetiljke i neonske reklame.

Smetnje od lokaliziranih izvora mogu se relativno lako otkloniti, dok je otklanjanje nelokaliziranih smetnji vrlo teško, traži stručno znanje i strpljenje u pronalaženju izvora smetnji i najboljeg načina otklanjanja.

Smetnje se mogu širiti suprot-nim fazama uzduž paralelnih vo-dova električne mreže. To su sime-trične smetnje. Ako se smetnje šire uzduž snopa žica sa istom fazom, vod se ponaša kao antena. Drugi je »vod« tlo, smetnje su nesimetrične.

Obje vrste smetnja najbolje je otkloniti na mjestu njihovog izvora. Kao dodatna sredstva zaštite treba smatrati ona koja se primenjuju kod samog radio-uređaja.



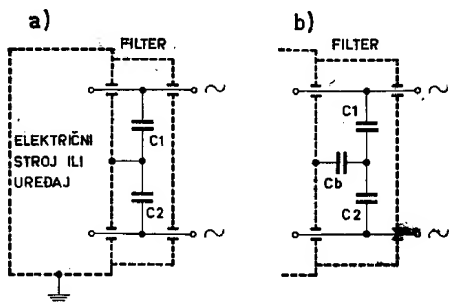
Sl. 23-1. Otklanjanje smetnja: a) blo-kiranjem prekidača jednim kondenzatorom; b) pomoću dva kondenza-tora; c) kondenzatorom i otporni-kom; d) blokiranjem regulatora br-zine malih motora ($C_1 = 0,1 \mu F$, $R_1 = 50 \Omega$)

OTKLANJANJE SMETNJA NA NJIHOVOM IZVORU

»Blokiranje« smetnja

Smetnje od iskara, koje se jav-ljaju na prekidačima, kontaktima i preklopnicima, najjednostavnije se otklanjaju tako da se mjesto na ko-jem nastaje iskra premosti pogod-nim kondenzatorom. Kaže se da je izvor smetnja »blokiran«. Ako se radi o simetričnoj smetnji dovoljan je samo jedan kondenzator za blo-kiranje C_s (sl. 23-1a).

Nesimetrične smetnje su daleko češće. Njih se, u pravilu otklanja tako da se svaki vod u blizini iskri-šta blokira kondenzatorom prema zemlji ili prema kućištu uređaja.



Sl. 23-2. Otklanjanje smetnja blokiranjem: a) stacionarnog, dobro uzemljenog električnog uređaja; b) prenosnog ili slabo uzemljenog uređaja

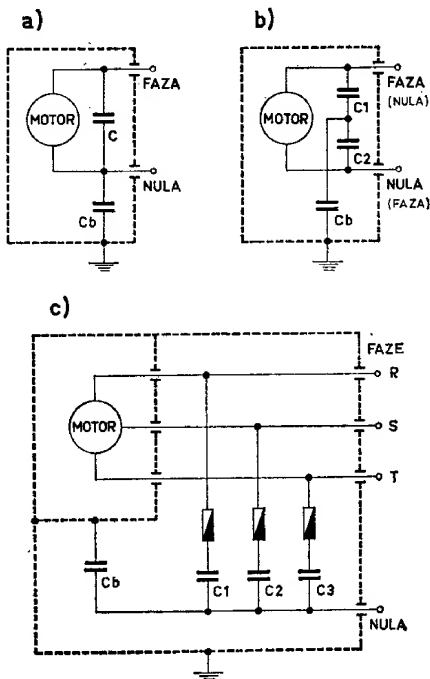
Takvo je blokiranje pokazano na sl. 23-1b. Kondenzatori C_1 i C_2 imaju obično oko $0,1 \mu\text{F}$, ako strujnim krugom teče izmjenična struja. Za blokiranje iskara u istosmjernim strujnim krugovima kapaciteti su redovito veći, do $5 \mu\text{F}$. Radni napon kondenzatora treba da je dovoljno visok. Obično se uzimaju kondenzatori sa radnim naponom tri puta višim od nazivnog istosmjernog napona, a kod izmjenične struje i pet puta višim. Tako se npr. za uređaje koji rade uz izmjenični napon od 220 V uzimaju kondenzatori s radnim naponom od najmanje 1000 V .

Nekada se smetnje blokiranjem pojačaju. U tom slučaju vodovi i kondenzator resoniraju upravo na neželjenoj frekvenciji. Kondenzatoru se tada dodaje serijski otpornik R_1 za prigušivanje iskare (sl. 23-1c). On obično ima 50 do 100Ω .

Vrlo česti izvori smetnja su različiti regulatori s promjenljivim otpornicima, npr. regulatori brzine malih elektromotora strojeva za šivanje ili pletenje, kao i na malim bušilicama, zubarskim ili zanatskim. Klizač toga otpornika treba blokirati kondenzatorom C_1 i prigušnim otpornikom R_1 prema sl. 23-1d.

Smetnje će se znatno bolje otkloniti ako se električni uređaj stavi u jednu, a kondenzatori za blokiranje u drugu, odvojenu metalnu ku-

tiju. Kućište uređaja treba uzemljiti. Ovakvo blokiranje prikazuje sl. 23-2a. Ako je kućište slabo ili nikako uzemljeno, kao što je slučaj kod različitih prenosnih aparata, kondenzatori za blokiranje ne smiju se direktno spojiti na kućište! Spoj se mora načiniti preko trećeg kondenzatora, koji predstavlja zaštitu od dodira rukom, pa se naziva obično »dodirni« kondenzator (C_b). Kondenzatori C_1 i C_2 su tako velikog kapaciteta da kod izmjenične struje kroz njih teče jakost struje koja je opasna po život. Da se, u slučaju dodira, jakost struje smanji na najviše 2 do 3 mA , »dodirni« kondenzator C_b je manjeg kapaciteta, obično 5 do 10 nF . On mora imati još viši radni napon. Kod istosmjerne struje radni napon mu je šest puta, a pri izmjeničnoj devet puta viši od nazivnog



Sl. 23-3. Blokiranje i oklapanje elektro-motora: a) za simetričnu; b) za nesimetričnu smetnju; c) blokiranje i oklapanje trofaznog motora

napona. Za uređaje koji rade sa izmjeničnim naponom od 220 V dodirni kondenzator mora biti predviđen za radni napon od najmanje 2000 V.

Vrlo neugodni izvori smetnja su motori sa četkicama. Na sl. 23-3a vidi se blokiranje motora za otklanjanje simetričnih smetnji. U ovom se slučaju uvijek mora dobro paziti na ispravno priključivanje »faze« i »nule«. Kod blokiranja, prema sl. 23-3b, sasvim je svejedno koji se vod priključi na »nulu« a koji na »fazu«.

Blokiranje trofaznog motora pokazano je na sl. 23-3c. Kućište motora i prostor za kondenzatore odvojeni su pregradom. U seriju sa svakim kondenzatorom za blokiranje stavlja se osigurač koji štiti instalaciju u slučaju da koji od kondenzatora bude probijen.

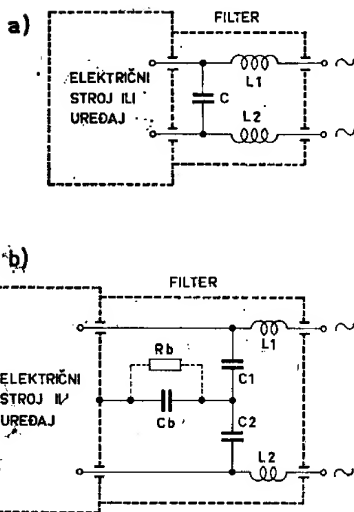
Filtriranje

Kada se smetnje ne uspiju otkloniti jednostavnim blokiranjem, treba pokušati s ugrađivanjem filtera. Filteri su zapravo titrajni krugovi koji sprečavaju da kroz njih prođe jedan dio smetajućih frekvencija.

Filtriranje se izvodi tako da se osim paralelnih kondenzatora za blokiranje u vodove uređaja stave i zavojnice L_1 i L_2 (sl. 23-4). Najjednostavniji način filtriranja s jednim paralelnim kondenzatorom i dvije serijske zavojnice, tzv. Larsen-ov filter je na sl. 23-4a.

Dva kondenzatora za blokiranje, C_1 i C_2 , zajedno sa već prije opisanim dodirnim kondenzatorom C_b , prikazan je na sl. 23-4b. Da se otkloni električni udarac koji bi pri dodiru mogao nastati pražnjenjem kondenzatora C_b , njemu je paralelno spojen otpornik R_b od nekoliko M Ω . Preko njega se taj kondenzator stalno pomalo prazni.

Kondenzatori C_1 , C_2 i C_b odabiru se po kapacitetu i naponu kako je već ranije pisano.



Sl. 23-4. Otklanjanje smetnji filtriranjem: a) Larsen-ov filter; b) filter s dodirnim kondenzatorom C_b , premoštenim otpornikom za stalno pražnjenje, R_b

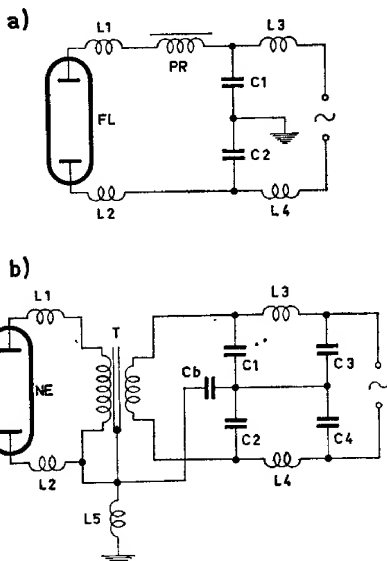
Zavojnice u filteru, tzv. prigušnice, izrađuju se simetrično. Induktivitet im je od 0,1 do 3 mH. Treba isprobati nekoliko različitih zavojnica, dok se smetnje dovoljno potisnu. Omski otpor zavojnica treba da je što manji. Osim toga treba uzeti u obzir da kroz njih prolazi sva pogonska struja koju moraju bez zagrijavanja podnijeti. Zato ih se mora načiniti iz dovoljno debele žice.

Za filtriranje struje malih i srednjih motora mogu se prigušne zavojnice motati na tijelu promjera 4 cm, žicom debljine 1 do 2 mm. Broj zavoja će biti između 20 i 120.

Vrlo se teško otklanjaju smetnje koje izazivaju fluorescentne i neonske cijevi za rasvjetu i reklame. Električno pražnjenje u plinovima uzrok je vrlo snažnih smetnji. One se iz ovih cijevi šire na dva načina: vodovima i direktnim zračenjem u prostor. Protiv ovog drugog se ne da ništa učiniti, jer se u većini slučajeva cijev ne može oklopiti. Ipak

smetnje će se znatno smanjiti, ako se otklone one koje se šire vodovima. Vrlo lako se može dogoditi da kondenzatori za blokiranje i prigušne zavojnice resoniraju tako da se smetnje pojačaju. Tada se mora vrlo strpljivo eksperimentirati s vrijednostima, te rasporedom i načinom spajanja elemenata za filtriranje, dok se postigne najbolji rezultat.

Filtriranje smetnja od fluorescentne rasvjetne cijevi pokazano je na sl. 23-5a. Filter je dobro zatvoriti u metalnu kutiju i smjestiti pokraj prigušnice *PR* koja se normalno nalazi uz fluorescentnu svjetiljku. Filter i prigušnica *PR* moraju biti smješteni što je moguće *bliže* fluorescentnoj cijevi. Između njih i same cijevi stavljaju se prigušne zavojnice L_1 i L_2 . Ove zavojnice su potrebne da priguše one najviše frekvencije, tamo u području UKV-a. Zato imaju samo nekoliko zavoja (4 do 15).



Sl. 23-5. a) Otklanjanje smetnja od fluorescentnih cijevi filtriranjem; b) otklanjanje smetnja od neonske cijevi višestrukim filtriranjem

Smetnje koje nastaju od loših startera fluorescentnih cijevi, koji stalno pale i gasе cijev, mogu se otkloniti samo zamjenom lošeg startera ispravnim!

Za neonske reklamne cijevi potreban je visokonaponski transformator *T* koji samo pogoduje stvaranju vrlo jakih smetnja. Filtriranje treba obaviti još pažljivije. Jedan od načina otklanjanja smetnja kod ovih cijevi pokazan je na sl. 23-5b. Uvodu električne mreže je složeniji *CLC-filter* koji je uzemljen preko »dodirnog« kondenzatora C_b . I ovdje bi vodovi od transformatora do cijevi trebali biti što kraći. U njima su prigušne zavojnice L_1 i L_2 . Neonske cijevi za svjetleće reklamne natpise smještene su visoko, pa je vod za uzemljenje redovito dugačak. Takav zemljovod može preuzeti ulogu »antene« koja zrači smetnje. Zato je, na samom izlazu iz filtera, u vod za uzemljenje stavljena prigušna zavojnica L_3 .

Kondenzatori i zavojnice u ovim filterima odabiru se strpljivim pokusima. Njihove vrijednosti su od slučaja do slučaja različite.

Otklanjanje smetnja od medicinskih aparata

Medicinski, naročito terapijski aparati često su izvori vrlo snažnih smetnja. To su generatori za dijafermiju, za tzv. kratkovalnu i ultrakratkovalnu terapiju, zatim izvori različitih impulsa koji se primjenjuju u terapijske svrhe. Kod nekih metoda se za terapiju koristi visokofrekventno električno polje kondenzatora ili visokofrekventno magnetsko polje zavojnice. Tu teku VF struje prilične snage pa se mogu emitirati snažni radio-valovi.

Dobro otklanjanje smetnja od ovakvih aparata može se postići samo tako da se *cijela* prostorija u kojoj se nalazi i primjenjuje takav aparat stavi u metalni, tzv. »Faraday-ev« oklop. Na taj se način sprečava zračenje smetnji u okolni prostor. Shematski je jedna takva

prostorija prikazana na sl. 23-6. Uz ovakvo oklapanje treba ugraditi filtere u sve vodove koji izlaze iz te prostorije. To su vod struje za napajanje medicinskog aparata, vod za rasvjetu i eventualni telefonski vod.

Telefonske žice se ne smiju blokirati jer se tu radi o tonfrekventnim strujama. Stavljene su samo prigušne zavojnice L .

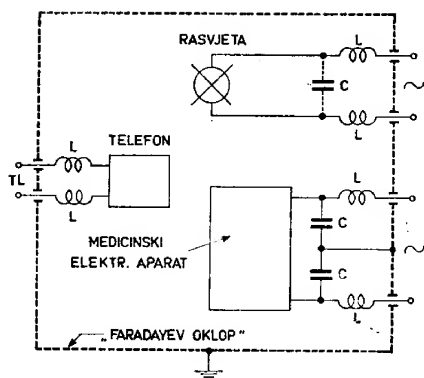
U vod za rasvjetu će nekad biti dovoljno staviti samo prigušne zavojnice. Zavojnice, odnosno filteri, moraju se staviti na samom izlazu iz općenitog oklopa, inače bi preostali dio voda primao na sebe smetnje zračenjem i izvodio ih iz prostorije.

Otklanjanje smetnja od automobilskih motora

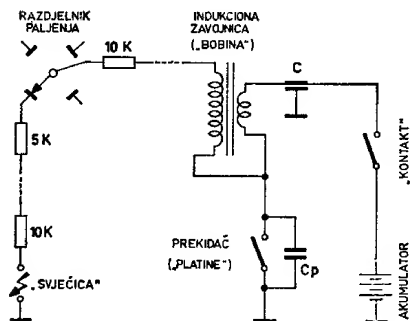
Automobilski i drugi benzinski motori izvor su smetnja u području kratkih i osobito u području ultrakratkih valova. To dobro zna svaki UKV-amater kojemu nokraj stana prolaze automobili! To nije neobično, jer u motoru postoji niz mjesta na kojima preskaču iskre: prekidač za paljenje (»platine«), razdjelnik paljenja i, konačno, same svjećice. Osim toga tu je i generator struje, »dinamo« koji kod većine automobila daje istosmjernu struju te ima četkice i komutator. Pri paljenju motora još su tri moguća izvora smetnji: uključivač (»kontakt«), relej elektro-pokretača i sam elektro-pokretač, koji također ima ugljene četkice i komutator.

Ove smetnje otežavaju radio-prijem u samom automobilu, ali i u priličnoj udaljenosti, do nekoliko stotina metara od njega.

Smetnje koje nastaju pri pokretanju motora obično se ne otklanjaju jer su samo povremene. Smetnje koje nastaju pri radu motora otklanjaju se na više načina (sl. 23-7). Prvo, paralelno »platinskom« prekidaču ugrađen je kondenzator C , kojim se postiže jednostavno blokiranje. U vod visokog napona, pre-



Sl. 23-6. Sprečavanje širenja smetnja od medicinskog električnog aparata oklapanjem cijele prostorije i stavljanjem filtera u sve vodove



Sl. 23-7. Smetnje od automobilskog benzinskog motora treba prigušiti kod prekidača i razdjelnika paljenja, te u vodovima svjećica

ma rotoru razdjelnika paljenja, stavlja se prigušni otpornik. Takvi se otpornici stavljaju i u svaki vod neposredno iza razdjelnika paljenja i ispred same svjećice. Iskra se na samoj svjećici, dakako, ne smije gasiti.

Motor se na žalost ne može uzemljiti. Uzemljenje automobila vodljivim trakama ili lancima koji se vuku po tlu odnosi se samo na pražnjenje statičkog elektriciteta i bitno ne doprinose smanjenju radio-smetnja. Da smetnje iz prostora

motora ne bi električnim vodovima dolazile u kabinu vozila, gdje se obično nalazi i radio-prijemnik, trebalo bi ih sve blokirati »prolaznim« kondenzatorima C, kako je naznačeno u vodu za »kontakt«, na sl. 23-7.

Otklanjanje smetnja posljednjih godina izvrše proizvođači automobila još u tvornici. Na tržištu se osim toga nalaze svi specijalni prigušni elementi pa bi svako vozilo trebalo na tehničkom pregledu dobiti i atest »RSO« (»radio smetnje otklonjene«)!

ZAŠTITA RADIO-UREĐAJA

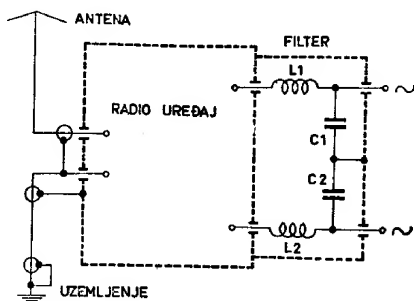
Svaki bi proizvođač i korisnik električnih uređaja, strojeva i aparata koji proizvode smetnje morao da ih otkloni već na njihovom izvoru. Na žalost, to je vrlo često učinjeno samo formalno, vrlo loše ili nikako. Zato smo često prisiljeni da i same radio-uređaje posebno zaštitimo od smetnja.

Smetnje dolaze u radio-uređaj na dva načina: a) zračenjem koje inducira smetajući signal bilo u samom uređaju, bilo u dovodu za uzemljenje ili u antenskom vodu; b) kroz vodove električne mreže.

Smetnje od zračenja uklanjaju se oklopanjem. U tu svrhu se radio-uređaj ugrađuje u metalnu kutiju, a za antenski vod i uzemljenje upotrebljavaju se oklopljeni, koaksijalni kabeli (sl. 23-8).

Sama antena se mora svakako postaviti što dalje od drugih antena i vodova električne ili telefonske mreže, od gromobrana i žljebova (oluka) na krovovima. Antenski dovod je oklopljen i njegov se oklop spaja na uzemljenje.

I zemljovod je oklopljen. Uzemljenje radio-uređaja, tj. njegova priključnica označena sa »zemlja«, spojena je na srednji vod koaksijalnog kabela, dok je limena kutija uređaja spojena za oklop kabela! Oklop voda za uzemljenje spojen je s »uzemljenjem« tek pri dnu. Na ovaj je način smanjena mogućnost induciranja smetajućeg signala bilo



Sl. 23-8. Zaštita od smetnja oklopanjem radio-prijemnika, antenskog dovoda i zemljovoda, te filtriranjem vodova električne mreže. Ovako se može oklopiti i odašiljački uređaj da se spriječe smetnje koje bi on mogao činiti okolnim radio-aparatura i televizorima

u vodu, bilo u oklopu voda za uzemljenje.

Vodovi električne mreže, kojima se dovodi struja za napajanje uređaja prolaze kroz filter koji se sastoji od prigušnih zavojnica L_1 i L_2 , te od kondenzatora za blokiranje, C_1 i C_2 . U ovom slučaju, kada smetnje dolaze iz mreže, prvo su stavljeni kondenzatori. Filter treba metalnom pregradom odijeliti od radio-uređaja. »Dodirni« kondenzator ovdje nije stavljen, jer je radio-uređaj obično dobro uzemljen.

Ovakvo oklopanje i filtriranje ima i drugu dobru stranu. Njime se sprječava da bilo kakva visoka frekvencija izađe iz radio-uređaja i da tako smeta drugima. U današnjim gustim naseljima, s velikim brojem električnih i radio-uređaja, trebalo bi zapravo svaki radio-aparat i televizor ovako oklopiti i filtrirati mu struju napajanja.

Posebni uređaj za otklanjanje smetnja, koje bi se mogle opaziti u susjednim radio-uređajima, a potječu od amaterske radio-stanice, opisani su u posebnom poglavlju.

Sredstva za uklanjanje impulsnih smetnji u samom prijemniku opisana su u poglavlju o prijemnicima.

AMATERSKA RADIO-STANICA

Amaterskoj radio stanici pripadaju svi uređaji koji služe održavanju radio-veze između amatera. Način rada, frekvencije, snaga predajnika i sve ostalo određeno je zakonskim propisima i pravilnicima Saveza radio-amatera Jugoslavije. Za rad na radio-stanici amater mora ispitom dokazati potrebno stručno znanje i dobiti pismeno ovlaštenje za rad. Za postavljanje radio-stanice mora amater imati posebnu dozvolu. Kad je stanica postavljena može započeti radom, ako je radio-amateru određen pozivni znak i izdana »Dozvola za rad amaterske radio-stanice«.*

Uređaji amaterske radio-stanice

Osnovni uređaji radio-stanice su prijemnik, predajnik, antenski sistem i izvor za napajanje uređaja. Uz to dolaze još i pomoćni uređaji za kontrolu rada i frekvencije, razvodna ploča, antenski preklopnik, osigurač od groma na ulazu antenskog voda.

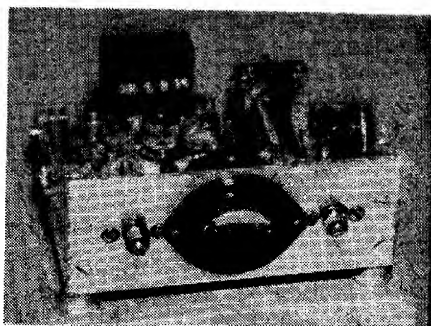
Amater treba da ima što bolji prijemnik, bez obzira na snagu predajnika. To mu omogućuje da čuje slabe signale udaljenih stanica. Tada će moći i sa predajnikom manje snage održati vrlo daleke veze. Prijemnik je redovito predviđen samo za antenska područja, kratkovalna ili ultrakratkovalna, ali se može ko-

ristiti i neki drugi komunikacijski prijemnik, uz uvjet da ima na svojoj skali dovoljno »razvučena« amaterska područja (sl. 24-1).

Snaga predajnika i područja radnih frekvencija moraju odgovarati dozvoli za rad, što je ovisno o kategoriji (klasi) amatera-operatora. Amateri se najviše služe nemoduliranom telegrafijom, a zatim FM-i SSB-telefonijom.

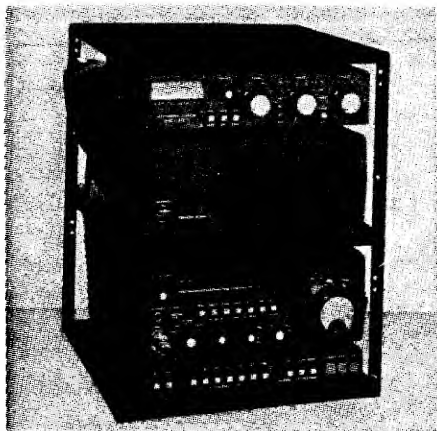
Amateri vrlo rado upotrebljavaju uređaje vlastite proizvodnje (»home made«) ali s razvojem industrije sve više se pojavljuju tvornički uređaji. Ovi su vrlo često načinjeni u obliku primo-predajnika (sl. 24-2) kao jedinstvenog uređaja, osobito za SSB.

Prijemnik i predajnik, te pribor uz njih, zvučnik, slušalice, tipkalo i



Sl. 24-1. *Minijturni kratkovalni predajnik (INPUT = 1 W) amaterske radiostanice YU2AI kojim su prije 35 godina ostvarene preko-oceanske veze. Imao je cijev tipa »955«. QRG = 14 MHz*

*) Detaljnije o propisima za stjecanje zvanja amaterskog radio-operatora, o postavljanju i radu amaterske radio-stanice u »Priručniku za amatere-operatore« ili u knjizi M. Mandrino: »Amaterske radio komunikacije«. Izdavački odjel NT Hrvatske, Zagreb 1983.



Sl. 24.2. Gdje ima malo prostora mogu se svi uređaji postaviti jedan iznad drugoga, kao ovaj komplet (FT-707)

mikrofon, postavljaju se na stol ili drugu pogodnu podlogu.

Obično se ista antena koristi i za prijem, i za predaju. U kvalitetnijim uređajima predviđeno je automatsko preklapanje antene na prijemnik ili predajnik. Kod jednostavnijih uređaja amater su mora sam načiniti pomoću mehaničkog ručnog preklopnika.

ODRŽAVANJE AMATERSKIH RADIO-VEZA

Amaterske radio-veze održavaju se telegrafijom ili telefonijom prema propisima, određenim saobraćajnim pravilima. Amaterska saobraćajna pravila u skladu su sa općim pravilima radio-saobraćaja. Ovdje se navode samo osnove amaterskog radio-saobraćaja. Detaljnije podatke amateri mogu naći u specijalnim priručnicima.

Pozivni znakovi

U svrhu jednostavnog raspoznavanja svaka radio-stanica ima svoj pozivni znak. Pozivni znakovi ama-

terskih stanica u većini slučajeva sastavljeni su ovako:

prefiks — broj — sufiks
uz eventualni dodatni znak.

Prefiks se obično sastoji od jednog ili dva slova i označuje zemlju kojoj stanica pripada. Prefiksi su strogo određeni međunarodnim dogovorom. Broj iza prefiksa većinom ukazuje na neko uže područje ili pokrajinu, republiku ili SAP. Sufiks koji slijedi iza toga sastoji se od jednog, dva ili tri slova i pripada određenoj radio-stanici. Na taj način je postignuto da se ne mogu naći dvije stanice u svijetu, koje bi imale potpuno jednak pozivni znak.

Pozivni znakovi jugoslavenskih amaterskih stanica počinju prefiksom YU za radio-stanice A, B, C, D ili E kategorije; YT za radio-stanice F kategorije; te YZ ili 4N za radio-stanice u povremenim akcijama organa i organizacija SRJ.

Brojka iza prefiksa označuje republiku ili autonomne pokrajine:

- 1 = SR Srbija
- 2 = SR Hrvatska
- 3 = SR Slovenija
- 4 = SR Bosna i Hercegovina
- 5 = SR Makedonija
- 6 = SR Crna Gora
- 7 = SAP Vojvodina
- 8 = SAP Kosovo
- 9 = rezervni broj
- Ø = stanica SRJ ili za posebne akcije i manifestacije,

Pozivnom znaku mogu se dodati još neka slova, odvojena razlomkovom crtom. To su:

- P = pokretna stanica (izvan stalnog smještaja)
- M = mobilna stanica na pokretnom objektu
- MM = stanica na brodu
- AM = stanica na avionu.

Među amaterima je uobičajeno da pozivni znak lične stanice vriedi kao neko drugo ime operatora kojem pripada. Zato se onda, kad neki amater-operator prestane da

radi otkazivanjem ili gubitkom dozvole, odnosno smrću, njegov znak ne dodeljuje drugoj stanici najmanje 10 godina.

Amateri su dužni izmijeniti pozivne znakove na početku i na kraju svakog dijela veze.

RST-skala

Prilikom uspostavljanja veze, radio-amateri informiraju jedan drugoga o primljenom signalu, njegovoj razumljivosti i snazi. To se redovito izvršava pomoću tzv. RST-skale. Iza kratice RST slijedi troznamenasti broj kod kojega prva brojka označuje razumljivost signala (od 1 do 5), druga snagu signala (od 1 do 9) i treća kvalitetu telegrafskog tona (od 1 do 9).

Značenje i gradacija brojeva RST-skale navedeni su u tablici 24-1.

Pri radu telefonijom daju se samo prva i druga brojka (RS-skala), dok se kvaliteta modulacije opisuje riječima.

Kratice

Telegrafijom se često ne prenose cijele riječi («otvoreni tekst») nego dogovorene skraćene riječi ili simboli, tzv. kratice, da se veza ubrza. Amateri upotrebljavaju dvije vrste kratice.

Tzv. »amaterske kratice« nastale su najvećim dijelom iz engleskog jezika. Najčešće upotrebljavane amaterske kratice popisane su u tablici 24-2.

Osim ovih kratica amateri se služe i dijelom međunarodnih telegrafskih kratica koje se sastoje od tri slova i sve počinju slovom »Q«. To je tzv. »Q-kodeks«. Q-kratice imaju dvostruko značenje. Ako se iza njih doda upitnik onda znače pitanje, a ako su bez upitnika znače tvrdnju. Najčešće upotrebljavane kratice »Q-kodeksa« mogu se naći u tablici 24-3.

Tablica 24-1. RST-skala

R (razumljivost signala)
1 = nerazumljivi signali
2 = povremeno razumljivi signali
3 = vrlo teško razumljivi signali
4 = signali razumljivi bez većeg napora
5 = potpuno razumljivi signali
S (snaga signala)
1 = jedva zamjetljivi signali
2 = vrlo slabi signali
3 = slabi signali
4 = donekle dovoljna snaga signala
5 = dovoljno snažni signali
6 = prilično snažni signali
7 = signali umjerene snage
8 = snažni signali
9 = izvanredno snažni signali
T (kvaliteta telegrafskog tona)
1 = vrlo grubo brujanje izmjenične struje
2 = grub nemuzikalan ton sa brujanjem
3 = donekle muzikalan ton izmjenične struje
4 = muzikalan ton sa ostatkom izmjenične struje
5 = muzikalan ton, moduliran brujanjem
6 = ton još malo moduliran brujanjem
7 = skoro čist ton
8 = čist ton s jedva zamjetljivim brujanjem
9 = potpuno čist ton (DC)
Dodatni podaci
K = čuje se oštar prizvuk, „kliksovi“
C = piskutav ton, „čirp“
X = kristalan ton (samo uz T9!)

Tablica 24.2. Najčešće amaterske kratice

Kratika	Značenje
AC	izmjenična struja
ADR	adresa
AFTER	poslije
AGN	ponovno
ALL	sve
AM	anodna modulacija
ANT	antena
ARE	jesu
BAD, BD	loše
BEST	najbolje
BK	prekid
BOX	poštanski pretinac
BETTER	bolji
CHEERIO	zdravo
CHIRP	nestabilan ton
CL	zatvaram stanicu
CO	kristalni oscilator
CONDS	prilike, uvjeti
CONGRATS	čestitam
CQ	poziv svima
CRD	poštanska karta
CUAGN	doviđenja
CUL	do skorog viđenja
CW	nemodulirana telegrafija
DC	istosmjerna struja
DR	dragi, draga
DX	daleke veze
ES	i
FB	odlično
FD	udvostručivač frekvencije
FER	za
FIRST	prvi
FM	frekventna modulacija
FOR, 4	za
FRM	od
FULL	potpun, čitav
GA	nastavi, hajde
GB	zdravo

Kratika	Značenje
GD	dobar dan
GE	dobro večer
GLD	drago mi je
GM	dobro jutro
GND	uzemljenje
GUD	dobro
GUHOR	ne mogu vas više čuti
HAM	mladi amater
HF	visoka frekvencija
HI	smijeh, šalim se
HPE	nadam se
HR	ovdje
HRD	čuo sam
HW?	kako me čujete
I	ja
IN	u
INFO	informacija
INPT	ulazna snaga, INPUT
IS	je
K	pređite na predaju
KEY, KY	tipkalo (taster)
LOG	dnevnik rada
LF	niska frekvencija
LUCK	sretno, sreća
MNI	mnogo
MO	pobudni oscilator
MY	moj
MSG	vijest
MST	morati, moram
N	ne
NAME	ime (nadimak)
NEAR	pokraj
NIL	ništa
NITE	noć
NW	sada
OB	stari prijatelj
OC	stari drug
OK	sve u redu, dobro je
OM	prijatelj, amater
ONLY	samo
OP, OPR	operator
PA	izlazni stupanj

Kratika	Značenje
PART	djelomično
PM	poslije podne; fazna modulacija
PSE	molim
PWR	snaga
R	primio sam
RPT	ponovite; ponavljam
RPRT	raport
RX	prijemnik
SEND	poslati
SK	završetak rada
SKED	dogovorena veza
SRI	žalim
STRONG	jak
SURE	sigurno
SWL	prijemni amater, slušač
TEST	pokus
THIS	ovaj
TKS	hvala
TMW	sutra
TNX	hvala
TO	do; prema; također
TBS	cijevi
TX	predajnik
TXT	tekst
UFB	prekrasno
U	vi; ti
UNLIS	nelicencirani amater (bez dozvole)
UR	vaš; tvoj
VFO	oscilator promjenljive frekvencije
VY	vrlo, jako
WA	riječ iza
WB	riječ ispred
WID	sa
WL	dužina vala
WK	raditi
WTS	vata (W)
WX	meteorološke prilike
XCUS	oprostite
XTAL, XTL	kristal

Kratika	Značenje
XYL	supruga, udata operatorka
YL	radio-amaterka, djevojka
YOUR	vaš; tvoj
YDAY	jučer
ZULU	UT ili GMT
2	do; prema; također
2 NITE	noćas
4	za
4U	za vas; za tebe
73	pozdrav
88	poljubac
99	nestani!

Kratice, i one »amaterske« i one »Q«, toliko su ušle u žargon amatera, da ih upotrebljavaju i u vezama telefonijom, pa čak i u svakodnevnom razgovoru, kao nove riječi.

Dokumenti o održanim vezama

O svakoj održanoj radio-vezi mora postojati dokument sa osnovnim podacima. Zato radio-amater redovito vodi *dnevnik* stanice. Dnevnik mora da sadrži slijedeće podatke:

- redni broj veze,
- datum
- vrijeme,
- pozivni znak korespondenta,
- opseg frekvencija,
- primljeni i predani raport (RST),
- vrstu emisije,
- podatak o smetnjama,
- QTH korespondenta,
- ime ili nadimak korespondenta,
- posebne bilješke o različitim opažanjima,
- potpis operatora koji je održao vezu.

Kod održavanja posebnih vrsta veza, npr. refleksijom od Mjeseca ili od meteoritskih tragova, u tak-

Tablica 24.3. Najčešće Q-kratice

Kratika	Značenje
QAP	Ostajem na prijemu
QQQ	Moram prekinuti rad, objašnjenje slijedi naknadno
QRA	Naziv radio stanice je...
QRAR	Moja adresa u CALL BOOK-u je ispravna (amaterski)
QRB	Udaljenost između stanica je...
QRG	Frekvencija je... kHz (MHz)
QRH	Vaša se frekvencija mijenja
QRJ	Signali su slabi
QRL	Zauzet sam, ne prekidajte me! (Radim)
QRM	Imam smetnje od drugih radio-stanica
QRN	Imam atmosferske smetnje
QRO	Povećajte snagu (Predajnik velike snage)
QRP	Smanjite snagu (Predajnik male snage)
QRQ	Ubrzajte tempo telegrafije
QRRR	Pozivanje u nesreći („kopneni SOS“!)
QRS	Usporite tempo telegrafije
QRT	Prestanite radom
QRU	Nemam ništa za vas
QRV	Spreman sam za prijem (za rad)
QRW	Obavjestite... da ga pozivam na... kHz
QRX	Održat ćemo vezu u... sati (ili čekajte)
QRZ	Poziva vas... (ili tko me zove?)
QSB	Jakost signala se mijenja. Fading
QSL	Potvrda prijema neke obavjesti ili telegrama
QSLL	Pismena potvrda amaterske veze: QSL-karta

Kratika	Značenje
QSO	Imam vezu sa... (Radio-veza)
QSP	Posredovati, prenijeti poruku trećoj stanici
QST	Opća poruka bez očekivanja odgovora
QSU	Nazovite me (u sati... na ...kHz)
QSUF	Nazovite me telefonom... (amaterski)
QSV	Dajte seriju VVV da vas lakše pronađem
QSW	Mijenjam frekvenciju predajnika
QSY	Predite na frekvenciju... kHz
QSZ	Ponavljajte svaku riječ
QTC	Imam obavjest za vas (telegram)
QTH	Smještaj radio-stanice je...
QTR	Tačno vrijeme je... UT (GMT, SEV, ...)



Sl. 24-3. QSL-karte sa svih šest kontinenata za diplomu »WAC«: YV = Venezuela, Južna Amerika; CR = Angola, Afrika; UAØ = azijski dio SSSR-a (Sibir), Azija; YU = Jugoslavija, Evropa; KL7 = Aljaska, Sjeverna Amerika; VK = Australija

Tablica 24-4. Značenje kratica za vrijeme

Oznaka vremena	Naziv vremena	Odnos prema svjetskom vremenu (UZ)
UT	Univerzalno, svjetsko vrijeme	= GMT
GMT	vrijeme zvjezdarnice Greenwich (Grinič)	= UT
SEV (CET, MEZ)	srednje evropsko vrijeme	UT+1 sat
IEV (EET, OEZ)	istočno evropsko vrijeme	UT+2 sata
MSK	moskovsko vrijeme	UT+3 sata
IMT	indijsko vrijeme	UT+5,5 sati
JMT	japansko vrijeme	UT+7,5 sati
AMT	australsko vrijeme	UT+9,5 sati
EST	istočno američko vrijeme	UT-5 sati
CST	srednje američko vrijeme	UT-6 sati
MST	vrijeme američkog srednjeg Zapada	UT-7 sati
PST	pacifičko vrijeme	UT-8 sati

Napomena: Vrijeme održavanja amaterskih radio-veza upisuje se redovito prema svjetskom vremenu (UT).

mićenjima, pri održavanju interesantnih DX veza, veze se snimaju i na magnetofonsku traku. Tako ostaje trajan i vjeran dokument.

Dokument o održanoj vezi su i QSL-karte koje amateri izmjenjuju. QSL-karte su amaterima vrlo dragi trofeji, naročito ako su od rijetkih i dalekih stanica. One su i dokaz o održanim vezama koji se priznaje kod dodjele diploma i nagrada.

QSL-karte sa svih šest kontinenta, kakve vrijede za diplomu »WAC« (Worked All Continents) vide se na sl. 24-3.

Takva karta ima veličinu poštanske dopisnice. Na njoj je na istaknutom mjestu odštampan pozivni znak stanice od koje je poslana. Tu su i glavni podaci o vezi, kao u dnevniku stanice, uz pozdrave i dobre želje udaljenom prijatelju.

Pri održavanju veza, naročito dalekih, amateri se susreću s problemom vremena u svijetu. Da ne dođe do nesporazuma umjesto lokalnog vremena navodi se tzv. svjetsko (UT) ili vrijeme po Greenwich-u (GMT). U tablici 24-4 nave-

dena su vremena koja služe za lokalnu upotrebu u različitim zemljama i njihov odnos prema svjetskom vremenu.

Održavanje radio-veze telefonijom

Prilikom održavanja radio-veze telefonijom razumljivost često nije dovoljna da se neke riječi mogu dobro primiti. To se naročito odnosi na različite podatke, pozivne znakove, lična imena, imena mjesta, pogotovo ako se drugačije pišu nego izgovaraju.

Da se u takvim slučajevima spriječe zabune i nejasnoće, kao i pri slabijoj općoj razumljivosti, riječi se sriču, ili kako se u amaterskom jeziku kaže »speluju« (engl.: spell = sricati), zamjenjujući pojedina slova odabranim riječima. To su dobro poznate riječi od kojih se kod prijema bilježi samo njihovo prvo slovo ili prva slova koja daju jedan glas.

Nekoliko najčešće upotrebljivanih načina za standardno sricanje dano je u tablicama 24-5, 24-6 i 24-7.

Tablica 24.5. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (I)

Slovo	Međunarodni (novi)	Međunarodni (stariji)	Jugoslavenski (SFRJ)
A	Alpha	America (Amsterdam)	Avala
B	Bravo	Baltimore (Boston)	Beograd
C	Charlie	Canada (Casablanca)	Cetinje
Ć	—	—	Ćuprija
Č	—	—	Čačak
D	Delta	Danemark	Dubrovnik (Drvar)
Đ	—	—	Đakovo (Đakovica)
Dž	—	—	Džep
E	Echo	England (Edison)	Evropa
F	Foxtrot	Florida	Foča
G	Golf	Guatemala	Gorica
H	Hotel	Honolulu (Havana)	Hrvatska (Heroj)
I	India	Italia	Istra
J	Juliet	Japan (Jerusalem)	Jadran (Jajce)
K	Kilo	Kilowat (Kilogram)	Kosovo
L	Lima	London (Liverpool)	Lika
Lj	—	—	Ljubljana
M	Mike	Mexico (Madagaskar)	Mostar (Maribor)
N	November	Norway (New York)	Niš
Nj	—	—	Njegoš
O	Oscar	Oslo	Osijek
P	Papa	Portugal (Paris)	Pirot
Q	Quebec	Quebec	Kvorum (Kvebek)
R	Romeo	Radio (Roma)	Rijeka (Ruma)
S	Sierra	Santiago	Sarajevo (Skopje)
Š	—	—	Šibenik
T	Tango	Texas (Tripoli)	Tetovo (Titograd)
U	Uniform	Uruguay (Upsala)	Užice
V	Victor	Valencija	Valjevo
W	Whiskey	Washington	Duplove
X	X-Ray	Xilophon	Iks
Y	Yankee	Yokohama, Yellow	Ipsilon
Z	Zulu	Zanzibar	Zagreb (Zenica)
Ž	—	—	Žabljak

Osim toga, kod telefonijske veze na našem jeziku, brojevi se izgovaraju: *jedinica*, dva, tri, četiri, *petica*, šest, sedam, osam, *devetka*, deset.

To je zbog toga da se (uz QRM i QRN) ne zamijeni »jedan« i »sedam«, »pet« i »šest«, »devet« i »deset«.

Tablica 24-6. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (II)

Slovo	Američki (ARRL)	Češki	Njemački
A	Adam (Abel)	Adam	Anton
Ä	—	—	Ärger
B	Baker	Božena	Bertha
C	Charlie	Cyril	Cäsar
Ch	—	Chrudim	Charlotte
D	David	David	Dora
E	Edward (Easy)	Emil	Emil
F	Frank (Frequency)	František	Friedrich
G	George	Gustav	Gustav
H	Henry	Helena	Heinrich
I	Ida (Item)	Ivan	Ida
J	John	Josef	Julius
K	King	Karel	Karl (Konrad)
L	Levis (Love)	Ludvik	Ludwig
M	Mary	Marie	Martha
N	Nancy	Neruda	Nordpol
O	Ocean (Otto)	Otakař	Otto
Ö	—	—	Ödipus
P	Peter	Petr	Paula
Q	Queen	Quido	Quelle
R	Robert (Roger)	Rudolf	Richard
Ř	—	Řehoř	—
S	Susan (Sugar)	Svatopluk	Siegfried
Sch	—	—	Schule
Š	—	Šárka	—
T	Thomas	Tomáš	Theodor
U	Union (United)	Urban	Ulrich
Ü	—	—	Übel
V	Victor	Václav	Viktor
W	William	Dvojite ve	Wilhelm
X	X-Ray	Xaver	Xanthippe
Y	Young	Ypsilon	Ypsilon
Z	Zebra	Zuzana	Zeppelin
Ž	—	Žofie	—

Tablica 24-7. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (III)

Slovo	Ruski	Izgovor
А	Алексей	Aleksej
Б	Борис	Boris
В	Василий	Vasilij
Г	Григорий	Grigorij
Д	Димитрий	Dimitrij
Е	Елена	Jelena
Ж	Женя	Ženja
З	Зоя	Zoja
И	Иван	Ivan (=I)
Й	Иван краткий	Ivan kratkij (=J)
К	Ксения	Ksenija
Л	Леонид	Leonid
М	Мария	Marija
Н	Николай	Nikolaj
О	Ольга	Oljga
П	Павел	Pavel
Р	Роман	Roman
С	Сергей	Sergej
Т	Татьяна	Tatjana
У	Ульяна	Uljanı
Ф	Фома	Foma
Х	Харитон	Hariton
Ц	Ципля	Čaplja
Ч	Человек	Čelovjek
Ш	Шура	Šura
Щ	Щука	Šćuka
Э	Эмилия	Emilija
Ю	Юрий	Jurij
Я	Яков	Jakov

AMATERSKA RADIONICA

RADNO MJESTO

Radno mjesto radio-amatera ili radio-tehničara u praksi veoma je različito; od dobro opremljene radionice u radio-klubu ili poduzeću, do dijela nekog stola u stanu. Za kvalitetu uređaja koji se gradi, kao i za solidnost popravka, važnija je spretnost i stručno znanje. Ipak, za ozbiljniji rad potrebni su i slijedeći minimalni radni uvjeti:

- radna površina (barem 100×60 cm),

- priručno spremište alata i najnužnijih dijelova,

- prostor za »finiju« opremu: mjerne instrumente i najnužniju literaturu,

- razvodna ploča s potrebnim priključcima.

Ako je radni kutak smješten u stanu, treba osigurati da po njemu ne »prekapaju« nestručne osobe ili djeca, da ne načine štetu ili se unesreće dodirom električnih vodova.

Za ugodan rad trebala bi da je tu i dobra pomična svjetiljka, tako da se njome može rasvijetliti radno mjesto i uređaj na kojemu se radi.

U priručnom spremištu, u ladicama (fijokama) radnog stola, te na policama (rafovima) trebali bi se u plitkim kutijama, vidljivi i pristupačni, nalaziti različiti otpornici i kondenzatori, poređani po vrijednostima. Tu bi trebalo da se nađu i najčešće upotrebljavane elektronske cijevi, diode i tranzistori, te ostali radio-djelovi.

Od instrumenata treba svakako imati neki univerzalni mjerni instrument za napone i jakosti struja i, k tomu, dobar dip-metar. U bolje opremljenoj radionici naći će se još signal-generator, ton-generator, mjerač stojnih valova, valomjeri, brojila (brojači) frekvencije i još poneki pomoćni instrument.

Minimalna literatura koju amater mora imati »pri ruci« je priručnik sa podacima i karakteristikama elektronskih cijevi i poluvodičkih elemenata. Uz ovo je koristan i dobar radio-tehnički priručnik, sa zbirkom različitih shema i sklopova, te sa uputama za proračune i nomogramima. Uz to treba da je pripremljen blok za crtanje, računanje i zapisivanje važnih podataka, rezultata mjerenja, zapažanja itd. Kod amatera i tehničara koji su vješti računanju naći će se i elektroničko računalo, »digitron«.

Alat i pribor

Svaki amater i tehničar koji samostalno izrađuje, održava ili popravlja radio-uređaje, mora da obavlja niz operacija, od onih najgrubljih, mehaničkih (obrada lima, izrada šasija i kutija, montaža dijelova) pa do preciznih radova (spajanje, ugađanje i mjerenje). Amo treba dodati i konačnu obradu uređaja: lakiranje, izradu natpisa i skala itd. Zato se u radionici moraju nalaziti raznovrsni alati.

Teško je načiniti kompletan popis alata koji je potreban u prak-

tičnom radu. U osnovnu opremu radionice spada slijedeće:

- Izvijači različitih veličina.
- kombinirana, izolirana kliješta,
- plosnata, okrugla i kliješta za rezanje,
- hvataljka (pinceta),
- lemilo s priborom,
- oštar nož,
- škare (makaze), jače,
- nekoliko turpija različitog oblika i veličine,
- ručna bušilica sa spiralnim svrdlima (burgijama) do 10 mm,
- svrdla i nareznice za navoje M_3 (k tome možda još i M_4 , M_6 i druge),
- čekić (oko 200 grama),
- škripac, srednji (80 do 100 mm),
- pribor za mjerenje i crtanje,
- škare za rezanje lima,
- pila za rezbarenje,
- pila za željezo.

Osim navedenog alata potreban je i pomoćni pribor, kao što su:

- plastična, ljepljiva traka za izolaciju,
- obična ljepljiva traka (»selotejp«),
- tuba univerzalnog ljepila,
- lak, proziran ili u boji (»spray«).

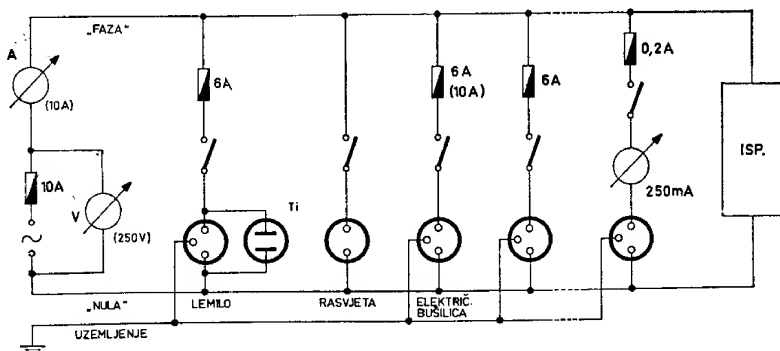
U radu će svakom amateru i tehničaru biti za obradu posebnih

materijala potreban još neki alat ili pribor koji ovdje nije naveden, ali svaki se praktičar u takvom slučaju dobro snalazi, pa često i sam izrađuje svoje pomoćne uređaje.

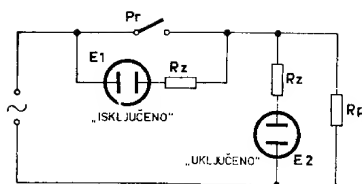
Razvodna ploča

Na radnom mjestu u poduzeću ili u radionici kluba potrebna je razvodna ploča. Najskromnija razvodna ploča je montirana na daščici na kojoj se nalazi nekoliko priključnih kutija za električnu struju: za lemilo, za uređaj, za instrument, za rasvjetu. Sve je spojeno sa jednim dvožilnim kablom kojim se spaja sa priključnicom na zidu.

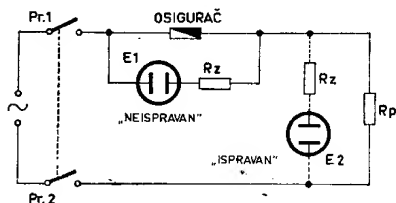
Bolja razvodna ploča mora sadržavati i neke pomoćne elemente. Jednu takvu razvodnu ploču pokazuje sl. 25-1. Cijela se ploča priključuje na električnu mrežu vodovima »faza«, »nula« i »uzemljenje«. U glavni vod stavljen je osigurač od 10 A. Ampermetar (10 A) kontrolira potrošak struje. Na samom ulazu je i voltmetar (250 V) kojim se kontrolira napon električne mreže. Na ploči se nalazi nekoliko priključnica sa uzemljenjem, tzv. »šuko«. Broj priključnica ovisi o konkretnim potrebama, npr. za le-



Sl. 25-1. Primjer razvodne ploče za amatersku radionicu s nizom priključnica, osigurača, kontrolnim instrumentima i ispravljačem (npr. za istosmjerni napon od 12 do 13 V)



Sl. 25-2. Primjena tinjalice za signalizaciju stanja prekidača



Sl. 25-3. Primjena tinjalice za signalizaciju stanja osigurača

milo, svjetiljku, električnu bušilicu, te još nekoliko rezervnih. Svaka priključnica ima svoj osigurač i svoj prekidač, tako da se utikač ne mora izvlačiti iz priključnice. Osigurači se dimenzioniraju već prema potrebi. Neke od priključnica mogu imati signalizaciju da su uključene, kako je to nacrtano kod one za le-milo.

Posljednja u redu je priključnica koja ima u seriju spojen mili-ampermetar od nekoliko stotina miliampera, te osigurač toga reda veličine. Ovu priključnicu koristimo kada ispitujeemo osjetljive uređaje s malim potroškom struje. Na instrumentu se odmah vidi da li kroz uređaj prolazi ili ne prolazi struja, te kolike je jakosti.

U slučaju neke neispravnosti pregori osjetljivi osigurač. Ako bi sve priključnice bile spojene preko zajedničkog osigurača bilo bi sve isključeno. Zato je bolje imati više osigurača.

Na opisanu razvodnu ploču mogu se staviti signalne tinjalice koje se mogu nabaviti u trgovinama elektromaterijalom.

Na sl. 25-2 vidi se kako tinjalice služe za indicaciju da li je uključen prekidač. Paralelno prekidaču Pr spojena je tinjalica E_1 , koja svijetli samo onda, kada je prekidač otvoren i ako je potrošač R_p priključen. Kada se prekidač zatvori, ugasi se E_1 , ali se pali tinjalica E_2 .

Na sl. 25-3 vidi se kako tinjalice pokazuju stanje osigurača. Ako je osigurač ispravan, svijetli tinjalica E_2 ; ako je pregorio, svijetli tinjalica E_1 . Nalazi li se na uklopnoj ploči više tinjalica, treba pokraj svake staviti natpis koji objašnjava što ona pokazuje.

R_z su zaštitni otpornici koji su kod većine signalnih tinjalica već ugrađeni u njenom podnožju ili grlu.

Lemljenje

Lemljenje je spajanje dvaju metalnih komada pomoću drugog metala koji ima niže talište. Lemljenje se naziva mekim, ako je talište metala za lemljenje niže od 500°C . Za tvrdo lemljenje služe metali kojima je talište više. U radio-tehničkoj praksi meko lemljenje se primjenjuje za međusobno spajanje vodova i za priključivanje elemenata. Takvo lemljenje se obavlja pomoću legure kositra (kalaja) i olova.

Ono što treba zalemiti treba zagrijati lemilom. U radio-tehničkoj praksi to se redovito čini električnim lemilom. Ima ih dvije vrste. Kod jednih se bakreni vrh zagrijava električnom grijalicom, dok se kod drugih kroz bakreni vrh pušta jaka struja i tako zagrijava. Grijalica, odnosno jakost struje koju ona troši, odabrani su tako da se vrh lemila zagrije na potrebnu temperaturu. Obično se upotrebljavaju lemila koja troše 20 do 40 W, ali ima ih i slabijih i jačih.

Lemi se legurom od oko 60% kositra i 40% olova, koja ima nisko talište. U tablici 25-1 su tempe-

Tablica 25-1. Temperatura taljenja za različite težinske odnose kositra i olova u leguri za lemljenje

Kositar (kalaj) %	Olovo %	Temperatura taljenja (°C)
30	70	260
40	60	240
50	50	220
67	33	180
90	10	215
100	—	232

perature taljenja za različite odnose kositra i olova u leguri. Danas se za lemljenje najčešće upotrebljava tzv. »tinol-žica«. To je šuplja žica od legure za lemljenje kojoj je šupljina ispunjena kalofonijem ili nekom pastom za lemljenje.

Lemljenje je jedna od najvažnijih operacija u radiotehničkoj praksi. Bez dobro zalemljenih spojeva nema kvalitetnih uređaja! Zato svaki radio-amater i tehničar mora naučiti dobro lemiti. Lošim lemljenjem »lijepe« se spojevi, tek toliko da se drže. Ovakvi loši spojevi često su izvori smetnja, prekiđa i lošeg rada radio-uređaja.

Prije lemljenja treba dodirna mjesta metala koji se spajaju dobro očistiti od nečistoća, masti i oksida. Čisti se mehanički, nožem ili brusnim papirom.

Očišćena površina metala ubrzo oksidira, a posebno još kada se lemilom zagrije. U svrhu uklanjanja oksida i zaštite površine općenito se za lemljenje upotrebljavaju različita pomoćna sredstva: kalofonij, salmijak, solna kiselina, tzv. »ugašena« solna kiselina sa cinkom i razne paste za lemljenje. U radio-uređajima se za lemljenje najviše upotrebljava *kalofonij* koji je kemijski neutralan prema metalima. Paste za lemljenje koje su garantirano *bez kiselina*, također se smiju upotrebiti. Ostaci kiselina na zalemljenim mjestima izazvali bi tokom

vremena koroziju i tako oštetili spoj.

Kalofonij za lemljenje mora biti čist, bistro žute ili svijetlo smeđe boje. On se rastali lemilom i tako nanese na dobro očišćena spojna mjesta.

Razrijeđeni kalofonij se može načiniti tako da se otopi u alkoholu (može biti i denaturirani alkohol, tzv. »špirit«) do potrebne gustoće. Kalofonij se otapa i u lanenom ulju ili terpentinu.

Dobra pasta za lemljenje se može načiniti po slijedećem receptu:

95 grama kalofonija

5 grama lanenog ulja

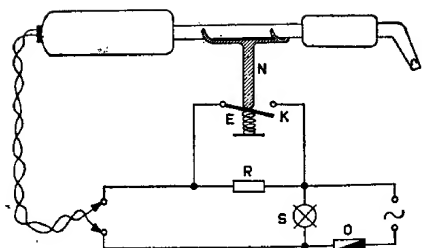
+ malo terpentina (da se dobije potrebna gustoća).

Razređeni kalofonij ili pasta za lemljenje nanose se u što manjim količinama, dok se krajevi žica mogu jednostavno umočiti.

Ako za lemljenje služi tinol-žica, treba na očišćeno mjesto prisloniti tinol-žicu, a preko nje vrh lemila, tako da se kalofonij ili pasta iz tinol-žice razlije *prije* nego se metal znatnije zagrije i oksidira! Tek kada je mjesto preliveno, lemlilo se čvršće prisloni, dobro zagrije i tako zalemi. Zalemljeno mjesto treba ostaviti da se *polagano i na miru* ohladi!

Dobro zalemljen spoj pozna se po *boji* kositra. On mora biti srebrno-sjajan. Ako se spoj prenaplo ohladio ili se pri hlađenju pomaknuo, došlo je do kristalizacije u kositru i on je svijetlo siv i bez sjaja. Takav spoj je loš i može načiniti mnogo neugodnosti, jer se kasnije teško otkrije. Zato svaki takav »hladni spoj« treba nanovo zagrijati.

Lemilo je jedan od osnovnih alata radio-amatera. Zato mora biti uvijek ispravno i spremno za rad. Vrh lemila treba da je čist i pokositren (kalajisan). Zaprljano lemlilo čisti se struganjem dok je još hladno, zatim se zaštiti kalofonijem, zagrije i pokositri komadom kositra ili tinol-žice.



Sl. 25-4. Stalak sa lemilom sa ugrađenim prekidačem kojim se smanjuje grijanje lemila za vrijeme dok se s njime ne radi. K je kontakt u tzv. »mikroprekidaču«

Ispravna temperatura lemila poznata se po boji rastaljenog kositra na njegovom vrhu. Ona treba da je srebrno sjajna. Ako je boja rastaljenog kositra žućkasta, lemilom je prevruće, a ako postaje plavkasta ili ljubičasta, temperatura je daleko previsoka, kositar je izgorio. Treba ga ostrugati i smanjiti grijanje.

Lemila su dimenzionirana tako da grijalica daje toplinu koja je upravo potrebna za ispravno zagrijavanje. Ako je lemilom dugo uključeno, a s njime se ne radi jer se npr. montiraju elementi ili nešto mjeri, lemilom će se pregrijavati. Zato je vrlo praktično da lemilom leži na stalku na kojemu se zagrijavanje automatski smanjuje. Jedan je takav stalak prikazan na sl. 25-4. Kada je lemilom na stalku ono svojom težinom prekida kontakt K pa struja prolazi i kroz serijski otpornik R. Njime se smanjuje jakost struje na nekih 50 do 75% od normalne. Čim se lemilom digne, kontakt kratko spoji serijski otpornik i lemilom se normalno grije, te vrlo brzo postigne radnu temperaturu. U struinom krugu su još zaštitni osigurač O i signalna svjetiljka S (žarulja ili tinjalica).

Učvršćivanje sastavnih dijelova

U radio-uređajima sastavni dijelovi se međusobno, ili za podlogu, najčešće učvršćuju vijcima (šarafima)

i maticama. Zakovice (»nit-ne«) se upotrebljavaju skoro isključivo u industrijskoj proizvodnji. Razlog za ovo je jednostavan. Dijelovi učvršćeni vijcima lako se skidaju, premještaju ili zamjenjuju drugima.

Obično se upotrebljavaju tanji vijci. Vijaka ima mnogo različitih vrsta. Da se ne bi stvorilo previše »šarenilo« upotrebom različitih vijaka, dobro je odlučiti se za nekoliko standardiziranih tipova. Savršeno je dovoljan »asortiman« vijaka i matica od 3 mm, 4 mm i 6 mm (M3, M4 i M6). Za minijaturne uređaje, koji se sve više koriste i u amaterskoj tehnici, mogu biti korisne i manje dimenzije, npr. M2 ili M2,6. Prema ovom izboru treba imati i narezna svrdla i nareznice da se svaki element može pričvrstiti po želji.

Osim učvršćivanja vijcima amateri, naročito u provizornim i pokusnim uređajima, često koriste i ljepljenje. U starijim tehničkim priručnicima nalaze se mnogi recepti ljepljenja za različite materijale. Danas je sve to nepotrebno, jer se na tržištu dobiju sintetička ljepljiva, koja su skoro univerzalna. Ona ljepe najrazličitije materijale, iste i mješovite, i uglavnom su neosjetljiva na vlagu. To su »OHO«, »UHU« i druga slična ljepljiva koja su uz to još i izvrsni izolatori. Jedino treba provjeriti kako se ponašaju na visokim frekvencijama, što je ovisno o njihovom sastavu.

Sva ljepljiva i ljepljive trake imaju i svojih nedostataka. Mnoga su neotporna na povišenu temperaturu. Osim toga se dijelovi koji su zalijepljeni više ne daju razdvojiti.

OZNAČIVANJE ELEMENATA

Označivanje otpornika i kondenzatora

Stalni otpornici i kondenzatori ne proizvode se u kakvim god vrijednostima, osim za posebne svrhe, nego u određenim redovima vrijed-

Tablica 25-2. Standardni redovi vrijednosti otpora i kapaciteta

Red	E6	E12	E24
Tolerancija	20%	10%	5%
1	1	1	1
			1,1
		1,2	1,2
			1,3
1,5	1,5	1,5	1,5
			1,6
		1,8	1,8
			2,0
2,2	2,2	2,2	2,2
			2,4
		2,7	2,7
			3,0
3,3	3,3	3,3	3,3
			3,6
		3,9	3,9
			4,3
4,7	4,7	4,7	4,7
			5,1
		5,6	5,6
			6,2
6,8	6,8	6,8	6,8
			7,5
		8,2	8,2
			9,1
(10)	(10)	(10)	(10)

nosti. To su geometrijski redovi s faktorima 1,5, 1,2 ili 1,1. Prema tome u svakoj dekadi postoji 6, 12 ili 24 mogućih vrijednosti. Ovi se

redovi nazivaju IEC-redovi («International Electrotechnical Commission») i označavaju se E6, E12 i E24. O tim redovima je ovisna i tolerancija otpornika tj. dopušteno odstupanje od nazivne vrijednosti ($\pm 20\%$, $\pm 10\%$ i $\pm 5\%$).

U tablici 25-2 popisane su vrijednosti otpornika prema tim redovima sa pripadnim tolerancijama. Sve ostale vrijednosti dobiju se množenjem s 10^n , gdje je n cijeli broj. Tako se, npr. mogu naći otpornici od: 47 Ω , 470 Ω , 4,7 k Ω , 470 k Ω , 47 M Ω , kao i druge slične vrijednosti.

Ako je potreban otpornik od npr. 30 k Ω uz toleranciju od 10%, takav se u redu E12, ne može naći, nego se mora uzeti najbliža vrijednost. To je ili 27 k Ω ili 33 k Ω . Kada su potrebne vrlo tačne vrijednosti otpora, onda se one postižu kombinacijom više otpornika ili otpornicima manje tolerancije.

Promjenljivi otpornici proizvode se obično s vrijednostima: 100 Ω , 250 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 5 k Ω , 10 k Ω , 50 k Ω , 100 k Ω , 250 k Ω , 500 k Ω i 1 M Ω , iako ima i drugih.

Sa sličnim se nazivnim vrijednostima proizvode i stalni kondenzatori, osim nekih manjih izuzetaka. Jedino se elektrolitski kondenzatori proizvode i s malo drugačijim nizom vrijednosti: 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 25, 32, 50, 100, 250, 500, 1000 μ F itd.

Stalni otpornici i kondenzatori označavaju se brojevima ili, danas najčešće, bojama. Razlog je tome taj što se na minijaturnim elementima ne može brojevima dovoljno čitljivo i trajno naznačiti vrijednost. Osim toga je kod industrijske proizvodnje označavanje bojama znatno jednostavnije.

Otpornici se označuju brojevima i tako da se za jedinice piše slovo E, za tisuće slovo K, a za milijune M. Brojevi koji se na ovo odnose pišu se tako da slovo dolazi umjesto decimalnog zareza. Tako se na otporniku od 1,2 k Ω nalazi oznaka 1K2 ili na onome otpora 1,5 M Ω oznaka 1M5.

Tablica 25-3. Značenje boja kod označivanja otpornika i kondenzatora
(sl. 25-5 i sl. 25-6)

Boja	Znamenke A, B (i C)	Dekadski višekratnik D	Tolerancija T (%)	Radni napon U (V)
crna	0	1	—	—
smeđa	1	10	1	100
crvena	2	10 ²	2	200
narančasta	3	10 ³	3	300
žuta	4	10 ⁴	4	400
zelena	5	10 ⁵	5	500
plava	6	10 ⁶	6	600
ljubičasta	7	10 ⁷	7	700
siva	8	10 ⁸	8	800
bijela	9	10 ⁹	9	900
zlatna	—	10 ⁻¹	5 (otpornik)	1000
srebrna	—	10 ⁻²	10 (otpornik)	2000
bez boje	—	—	20 (otpornik)	500

Napomene:

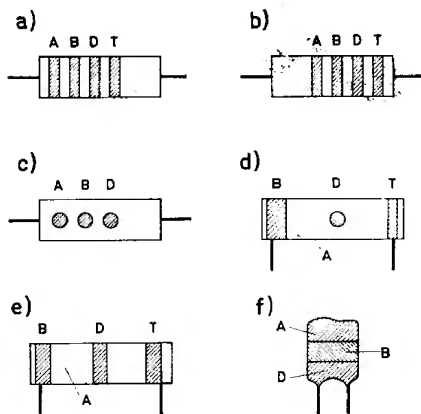
- Vrijednosti koje se dobiju za otpore su u omima, a za kapacitete u pikofaradima.
- Radni napon navodi se samo kod kondenzatora!
- Oznaka tolerancije zlatnom, srebrnom i bez boje koristi se samo kod otpornika!

Bojama se označuje tako da se na elementu, otporniku ili kondenzatoru nalaze tri do šest obojenih znakova. To su npr. prsteni, kružići ili obojeni dijelovi elemenata.

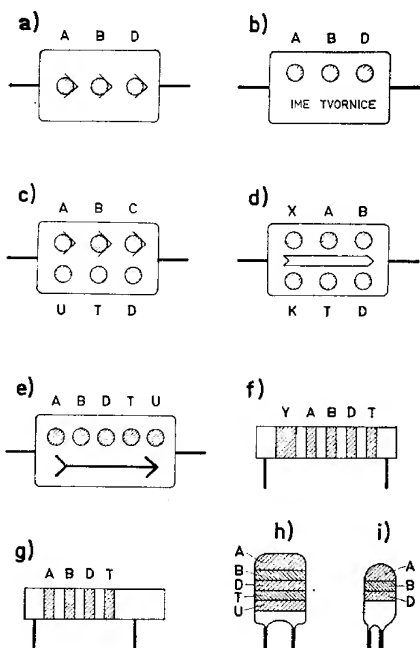
Boje odgovaraju brojčanim vrijednostima prema tablici 25-3.

Otpornici se označuju bojama vrlo jednostavno. Na otporniku se nalaze tri ili najviše četiri obojena znaka, prema sl. 25-5. Oznake se čitaju redom koji je označen na slici. Oznaka A daje prvu znamenku, oznaka B drugu znamenku. Treća oznaka, D, daje dekadski višekratnik (faktor) kojim se množi broj određen sa prve dvije znamenke. Četvrta oznaka, T, daje toleranciju. Ako je nema, tolerancija je $\pm 20\%$. Tako, npr., otpornik na kojem se nalaze počevši od oznake A koja je bliže kraju otpornika, slijedeće boje: žuta, ljubičasta, narančasta i srebrna, ima otpor od $47 \cdot 10^3 = 47 \text{ k}\Omega$ i toleranciju $\pm 10\%$.

Ako je srebrna ili zlatna oznaka bliže kraju otpornika, onda se čita redoslijedom kao na sl. 25-5b. Na sl. 25-5 nacrtana su još četiri načina označavanja otpornika bojama.



Sl. 25-5. Označavanje otpornika bojama, vidi tekst



Sl. 25-6. Označavanje kondenzatora bojama, vidi tekst

Čitanje oznaka na *kondenzatorima* osniva se na istom principu, ali je nekada u praksi složenije. Nekoliko je primjera označivanja kondenzatora na sl. 25-6. Ako su samo tri oznake, kao na sl. 25-6a i b onda se vrijednost čita na isti način kao kod otpornika.

Kada na kondenzatoru ima pet ili šest oznaka, onda je na neki način strelicom označen smjer čitanja. Oznaka *A* daje prvu znamenku, *B* drugu, a *C*, ako postoji, treću. Oznaka *D* daje dekadski višekratnik s kojim se množi broj dobiven od prve dvije ili tri znamenke. Toleranciju označuje *T*, dok *U* daje maksimalno dopušteni radni napon.

Ako je prva od šest oznaka, *X*, crna, onda je to kondenzator s tinjcem (»mica«). Ako je ona srebrna, to je papirni kondenzator.

Boje na kondenzatorima se, ako su s tinjcem ili papirni, čitaju prema tablici 25-3, dok se na keramičkim kondenzatorima čitaju prema tablici 25-4. Oznaka *Y* daje vrijednost temperaturnog koeficijenta.

Tablica 25-4. Značenje boja kod označavanja keramičkih kondenzatora (sl. 25-6f)

Boja	Znamenke <i>A, B i C</i>	Dekadski višekratnik <i>D</i>	Tolerancija kapaciteta <i>T</i>		Temperaturni koeficijent <i>Y</i> (10^{-6} za $^{\circ}\text{C}$)
			iznad 10pF(%)	ispod 10pF(%)	
crna	0	1	± 20	2,0	0
smeđa	1	10	± 1	—	— 30
crvena	2	10^2	± 2	—	— 80
narandžasta	3	10^3	—	—	—150
žuta	4	—	—	—	—220
zelena	5	—	± 5	0,5	—330
plava	6	—	—	—	—470
ljubičasta	7	—	—	—	—750
siva	8	10^{-2}	—	0,25	+ 30
bijela	9	10^{-1}	± 10	1,0	+ 500

Tablica 25-5. Temperaturni koeficijent kondenzatora sa tinjcem i sa papirom

Boja šeste oznake <i>K</i>	Temperaturni koeficijent (10^{-6} za $^{\circ}\text{C}$)
crna	± 1000
smeđa	± 500
crvena	$+ 200$
narančasta	$+ 100$
žuta	-20 do $+ 100$
zeleni	0 do $+ 70$

Primjer: Keramički kondenzator ima, kao na sl. 25-6f, širu oznaku ljubičaste boje i dalje redom: zelenu, plavu, crnu i zelenu. Pomoću tablice 25-3 čitamo: kapacitet 56 pF, tolerancija $\pm 5\%$ i temperaturni koeficijent $-750 \cdot 10^{-6}$ za $^{\circ}\text{C}$.

Oznaka *K* (za kondenzatore sa tinjcem i sa papirom) čita se prema tablici 25-5. Vidi i sl. 25-6d.

Neki proizvođači stavljaju i druge oznake, ali boje imaju svagda iste brojčane vrijednosti. Najbolje je poslužiti se katalogom proizvođača, ali uz naše tablice mogu se pročitati vrijednosti većine otpornika i kondenzatora, koji dolaze u praksi.

NEKOLIKO PRORAČUNA

U redovitoj praksi radio-amatera i tehničara stalno je potrebno nešto izračunati ili proračunati. Većina potrebnih proračuna može se izvesti jednostavnim metodama a da rezultat za praktičnu primjenu bude zadovoljavajući. Ovdje se navodi nekoliko najpotrebnijih proračuna.

Potrošak električne energije

Potrošak električne energije izračunava se tako da se snaga pomnoži s vremenom kroz koje je ta snaga primjenjivana. Ako se snaga u vatima množi s vremenom u

sekundama, dobije se nergija u vats sekundama ili džulima. U praksi se vrijeme najčešće izražava u satima pa se energija dobije u vatsatima ili u kilovatsatima.

Ako je, npr. lemilo snage 150 W bilo uključeno 3 sata; potrošak električne energije je:

$$150 \text{ W} \times 3 \text{ sata} = 450 \text{ vatsati} = 0,450 \text{ kWh.}$$

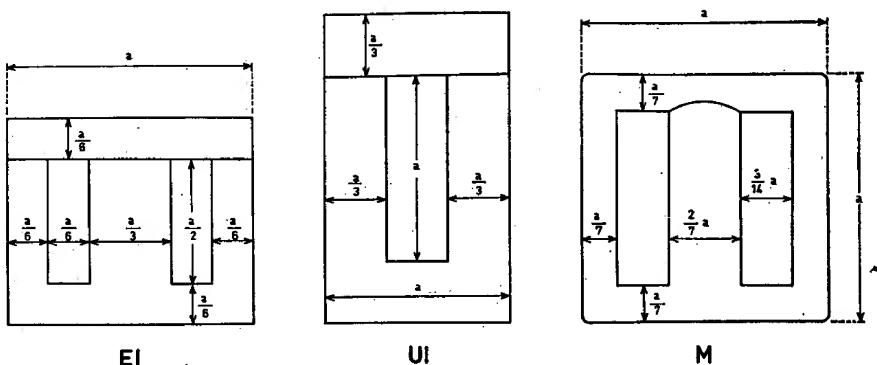
Ako se potrošak pomnoži s cijenom za 1 kWh dobije se cijena potrošene energije.

Proračun mrežnog transformatora

Mrežni transformatori malih snaga, kakvi se upotrebljavaju u radio-uređajima mogu se na jednostavan način proračunati, ako je jezgra transformatora sastavljena od transformatorskih limova standardne kvalitete. Tri najčešće upotrebljavana oblika transformatorskih limova, prikazana su na sl. 25-7. To su tzv. EI-oblik, UI i M-oblik. Osnovna dimenzija lima *a* naznačuje se u milimetrima iza oznake oblika lima. Tako, npr., oznaka EI42 kaže da je to EI-oblik

Tablica 25-6. Standardne dimenzije transformatorskih limova (sl. 25-7)

Osnovna dimenzija <i>a</i> (mm)		
Oblik lima		
EI	UI	M
30	30	20
42	39	30
48	48	42
54	60	55
60	75	65
66	90	74
78	102	85
84		102
92		
106		
130		



Sl. 25-7. Oblici i odnosi dimenzija transformatorskih limova. Vidi tablicu 25-6

s osnovnom dimenzijom $a=42$ mm. Osnovne dimenzije su standardizirane (vidi tablicu 25-6).

Za proračun transformatora potrebno je znati koliku snagu on treba dati. Za prvi primjer neka određeni prijemnik s cijevima treba uz napon od 250 V ukupno 150 mA (= 0,15 A) anodne struje za napajanje. Potrebna snaga je:

$$250 \text{ V} \times 0,15 \text{ A} = 38 \text{ W}$$

Za grijanje svih cijevi neka, uz napon od 6,3 V, bude dovoljna jakost struje od 4 A:

$$6,3 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 25 \text{ W}$$

Prema tome, u ovom primjeru, ukupna korisna snaga na sekundarnoj strani transformatora iznosi:

$$P_s = 38 + 25 = 63 \text{ W}$$

Ako pretpostavimo da su gubici oko 20%, primarna snaga P_p je 1,2 puta veća:

$$P_p = 1,2 \times P_s = 63 \times 1,2 = 75 \text{ W}$$

Presjek transformatorske jazgre F izlazi kao drugi korijen primarne snage:

$$F = \sqrt{F_p} = \sqrt{75} = 8,65 \approx 9 \text{ cm}^2$$

Da se potroši što manje žice, treba jezgra da ima približno kvadratičan presjek. Za jezgru koja je

sastavljena iz limova oblika EI će biti:

$$\frac{a}{3} = \sqrt{9} = 3 \text{ cm}$$

Treba dakle uzeti EI-limove kojima je osnovna dimenzija $a = 9$ cm. Prema tablici 20-11, najbliži su toj dimenziji filmovi EI-92. Da se dobije presjek 9 cm² potrebna je debljina »paketa« ovih limova od 3 cm.

Broj zavoja za svaki volt primarnog napona izračunava se ovako:

$$n = \frac{45}{F} = \frac{45}{9} = 5 \text{ zavoja/volt}$$

Broj zavoja n_p primarne zavojnice je sada lako izračunati. Ako primarni napon (napon električne mreže) U_p ima standardnu vrijednost od 220 V, slijedi:

$$n_p = U_p \times n = 220 \times 5 = 1100 \text{ zavoja}$$

Za sekundarnu zavojnicu treba, za nadoknadu gubitaka, dodati 10%, tj. u račun staviti faktor 1,1 pa izlazi:

$$n_s = 1,1 \times U_s \times n$$

Za sekundarni napon od 250 V stavlja se $U_s = 250$:

$$n_s = 1,1 \times 250 \times 5 = 1375 \text{ zavoja} \\ (\text{za anodni napon})$$

Za sekundarni napon od 6,3 V stavlja se $U_s = 6,3$ V:

$$n_s = 1,1 \times 6,3 \times 5 = 34,8 \pm 35 \text{ zavoja}$$

(za grijanje)

Izbor debljine žice ovisi o jakosti struje koja kroz nju teče. Debljina žice d (promjer u milimetrima) brzo se izračunava iz relacije:

$$d = \sqrt{\frac{J}{2}},$$

gdje jakost struje J treba uvrstiti u amperima.

Jakost struje u primarnoj zavojnici može se doznati iz primarne snage P_p ovako:

$$J_p = \frac{P_p}{U_p} = \frac{75 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0,34 \text{ A} \pm 0,35 \text{ A}$$

Za ovu jakost primarne struje potrebna je debljina žice:

$$d_p = \sqrt{\frac{0,35}{2}} = \sqrt{0,175} = 0,42 \pm 0,45 \text{ mm}$$

Za sekundarne zavojnice:
za 250 V:

$$d_s = \sqrt{\frac{0,15}{2}} = \sqrt{0,075} = 0,28 \pm 0,3 \text{ mm}$$

za 6,3 V:

$$d_f = \sqrt{\frac{4}{2}} = \sqrt{2} \pm 1,5 \text{ mm}$$

Kako se vidi, sve izračunate vrijednosti zaokružuju se na više. Tako se dobije dobro dimenzioniran transformator koji se neće pregrijavati. Vidi također tablicu 26-13, pri kraju knjige.

Kao drugi primjer neka bude transformator za niskonaponski ispravljač koji treba dati 12 do 14 V, uz opterećenje oko 3,5 A stalno ili nešto više kod opterećenja na mahove.

Takav transformator mora na sekundarnoj strani dati izmjenični napon od 18 V uz opterećenje od 3,5 A. To je opet 63 W na sekundarnoj strani!

Jezgra će biti ista, kao u predašnjem promjeru, broj primarnih zavoja također. Sekundarno ćemo namotati 99 zavoja, žicom od 1,35 mm promjera.

Kod opterećivanja na mahove, npr. za pogon primopredajnika, gdje je pretpostavljeno opterećenje prisutno samo za vrijeme rada davča, moći će se opterećenje povećati barem za 25 do 30 %. Kod predajnika SSB-signala dozvoljeno je opterećenje koje u vrhovima dosiže i 50% više (do 5,25 A, ali trajno samo do 3,5 A!).

Provjerite sami proračun!

Induktivitet jednoslojne, cilindrične zavojnice

U radio-amaterskoj praksi najčešće se upotrebljavaju jednoslojne cilindrične zavojnice. Jedna takva zavojnica vidi se na sl. 2-16, u poglavlju: »Osnovni pojmovi...«.

Induktivitet zavojnice ovisan je o broju zavoja, o promjeru zavojnice, o dužini zavojnice, ali i o omjeru dužine i promjera zavojnice.

Induktivitet jednoslojne cilindrične zavojnice može se izračunati iz jednostavne empirijske relacije:

$$L = K \cdot D \cdot N^2$$

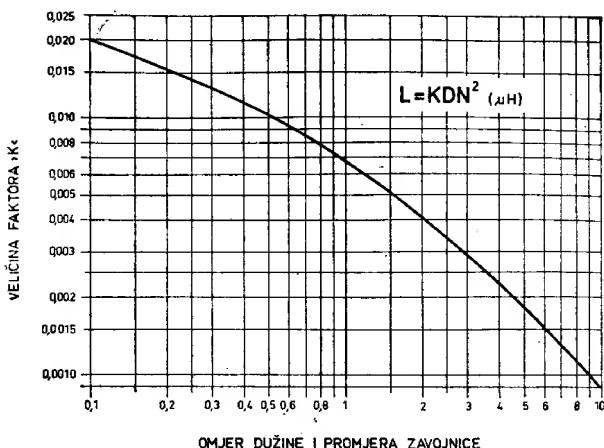
gdje je: L = induktivitet zavojnice u μH , D = promjer zavojnice u cm, N = broj zavoja, a K = faktor koji ovisi o omjeru dužine i promjera zavojnice.

Veličine faktora K , za najčešće vrijednosti omjera dužine i promjera zavojnice, daje grafikon na sl. 25-8.

Primjer: Koliki je induktivitet zavojnice koja ima 50 zavoja, na tijelu promjera 3 cm, a namotana je u ukupnoj dužini od 4 cm?

Omjer dužine i promjera je 4/3 ili 1,33. Na grafikonu se očita vrijednost za $K = 5,5 \cdot 10^{-3}$, pa je

$$L = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 50^2 = 5,5 \cdot 3 \cdot 2,5 = 41,25 \mu\text{H}$$



Sl. 25-8. Dijagram za određivanje faktora K za proračun jednoslojnih valjčastih zavojnica

Na sličan način može se proračunati zavojnica koju treba namotati. Primjer: potrebna je zavojnica koja ima induktivitet $180 \mu H$. Promjer valjka je $2,5 \text{ cm}$. Dužina zavojnice se odabere tako da se, po mogućnosti ne razlikuje mnogo od promjera. Neka omjer dužine zavojnice i njenog promjera bude 2. Tada se na grafikonu (sl. 25-8) nađe vrijednost faktora K :

$$K = 4 \cdot 10^{-3}$$

Iz gornje relacije za izračunavanje induktiviteta slijedi za broj zavoja:

$$N = \sqrt{\frac{L}{K \cdot D}} = \sqrt{\frac{180}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5}} = \sqrt{18 \cdot 10^3} = 134$$

Ako se u 134 zavoja namotaju jedan uz drugi promjer žice ne može biti veći od:

$$d = \frac{l}{N} = 0,3 \text{ mm}$$

Zavojnice na feromagnetičkim materijalima

Proračun zavojnice na feromagnetičkoj visokofrekventnoj jezgri još je jednostavniji, ako se zna faktor k za tu jezgru. Računa se pomoću empirijske relacije:

$$N = k \cdot \sqrt{L}$$

gdje je N broj zavoja zavojnice, L induktivitet u μH , a k je faktor ovisan o vrsti i obliku VF jezgre.

Ovaj faktor amateru obično nije poznat. Pokusom se može vrlo jednostavno pronaći. Na jezgru se namota određen broj zavoja, npr. $N = 100$, i izmjeri induktivitet L takve pokusne zavojnice. Tada je:

$$k = \frac{100}{\sqrt{L}}$$



Sl. 25-9. Marljiv konstruktorski rad u amaterskoj radionici radio-kluba

Neka se za L dobije, npr. vrijednost $140 \mu\text{H}$:

$$k = \frac{100}{\sqrt{140}} = \frac{100}{11,8} = 8,5$$

Ako na ovoj jezgri treba namotati zavojnicu, recimo, induktiviteta $50 \mu\text{H}$, za broj zavoja izlazi

$$N = 8,5 \cdot \sqrt{50} = 60 \text{ zavoja}$$

Zavojnice se na VF jezgrama motaju VF pletenicom (npr. $20 \times 0,05 \text{ mm}$), ali se može upotrebiti i bakrena žica, izolirana lakom ili, bolje, lakom i svilom. Zavoji se namataju u jednom ili u više slojeva, već prema konstrukciji jezgre. Induktivitet se na potrebnu vrijednost redovito ugađa pomoću posebnih vijaka ili okretanjem čitave VF jezgre.

Dobro je da se uvijek namota nešto veći broj zavoja, zatim mjerenjem provjeri induktivitet i onda po potrebi odmota suvišne zavoje.

Na isti se način izračunava i broj zavoja za postizavanje određenih vrijednosti induktiviteta zavojnica koje su namatane na prste-

nastim feritnim jezgrama («torusima»).

Određivanje promjera žice

Promjer žice obično se mjeri nekim preciznim mjerilom, npr. mikrometarskim vijkom. Za praktičnu upotrebu, ako takvog mjerila nema, može se promjer žice odrediti i jednostavnijim načinom.

Na neki okrugli predmet, npr. na olovku, namota se određen broj, npr. 10 ili, ako želimo biti precizniji, 100 zavoja žice. Tada se izmjeri dužina ove zavojnice u milimetrima. Promjer žice se dobije tako da se dužina zavojnice podjeli s brojem zavoja.

Primjer: Ako smo namotali 100 zavoja neke žice i dobili zavojnicu dužine 39 mm, promjer žice je:

$$d = \frac{39}{100} = 0,39 \text{ mm}$$

Ovo, dakako nije promjer samog bakrenog vodiča. To je promjer žice zajedno sa izolacijom i razmacima među zavojima koji se ne mogu sasvim izbjeći.

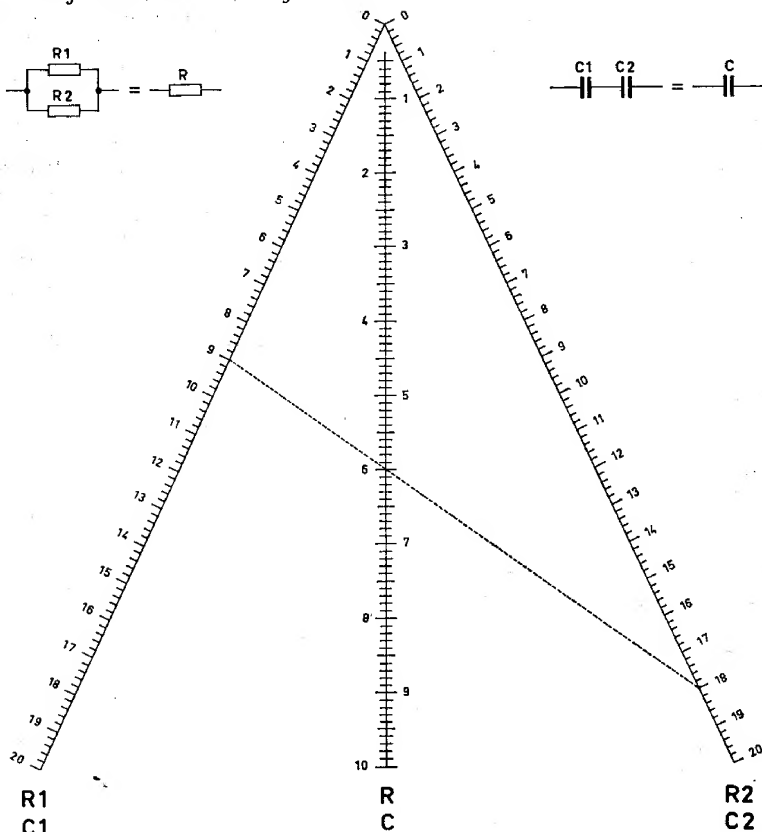
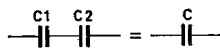
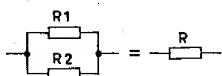
NOMOGRAMI I TABLICE

NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE OTPORA PARALELNO SPOJENIH OTPORNIKA I KAPACITETA SERIJSKI SPOJENIH KONDENZATORA

Nomogram je posebna vrsta dijagrama koji služi za brzo rješava-

nje različitih zadataka. On je zamjena za računanje, za koje bi trebalo više vremena.

Iz fizike znamo da se zajednički otpor dvaju *paralelno spojenih otpornika* može izračunati pomoću formule:



Sl. 26-1. Nomogram za određivanje vrijednosti otpora paralelno spojenih otpornika ili kapaciteta serijski spojenih kondenzatora

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{ili} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

gdje je R_1 otpor jednog otpornika, R_2 otpor drugoga, a R njihov zajednički otpor. Sam račun nije težak, ali traje duže nego čitanje gotovog rezultata na nomogramu.

Takav nomogram je na sl. 26-1. Za veličine otpornika R_1 vrijedi lijeva skala. Za otpornik R_2 vrijedi desna skala, dok se rezultat R čita na srednjoj skali.

Primjer: Otpornik (R_1) od 9 k Ω i otpornik (R_2) od 18 k Ω spojeni su paralelno jedan s drugim. Koliki je njihov zajednički otpor?

Na lijevoj skali pronađemo tačku koja odgovara vrijednosti prvog otpornika (kod broja 9). Na desnoj skali pronađemo tačku koja odgovara vrijednosti drugog otpornika (kod broja 18). Zatim preko nomograma položimo ravnilo (lenjir) tako da spaja obje tačke (*ne potezati liniju!*). Rezultat možemo pročitati na srednjoj skali, uz samo ravnilo. To je, u ovom primjeru kod broja 6. Prema tome: zajednički otpor je 6 k Ω .

Za serijski spojene kondenzatore vrijedi sličan izraz:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

C_1 i C_2 su kapaciteti jednog i drugog kondenzatora. Zajednički kapacitet koji rezultira iz njihovog serijskog spoja je C . Nomogram se čita na posve jednak način.

Primjer: Koliki je kapacitet serije dvaju kondenzatora koji imaju 90 (= C_1) i 180 pF (= C_2)?

Na lijevoj skali nomograma tačka kod broja 9 vrijedi za 90 pF, dok na desnoj skali ona kod broja 18 vrijedi za 180 pF. Pravac koji spaja ove dvije tačke siječe srednju skalu kod broja 6. Budući da smo brojeve na obje bočne skale čitali uz zamišljeni dodatak jedne nule, moramo i ovdje dodati nulu. Prema tome: zajednički kapacitet ovih kondenzatora koji su spojeni u seriju je 60 pF.

NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE KAPACITETA, INDUKTIVITETA I RESONANTNE FREKVENCIJE TITRAJNIH KRUGOVA U PODRUČJU OD 20 kHz DO 100 MHz

Nomogram na sl. 26-2 ima tri skale: za induktivitet, za frekvenciju i za kapacitet. Ako dvoje od toga poznamo, možemo lako i brzo odrediti treće.

Primjer: Koliki je induktivitet potreban da se, uz kapacitet od 500 pF, postigne resonancija na 500 kHz?

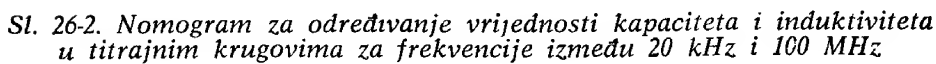
Ovo se rješava tako da se na srednjoj skali (F) potraži vrijednost frekvencije, na desnoj skali (C) vrijednost kapaciteta i onda preko ovih tačaka položi ravnilo (uzduž pravca A). Na lijevoj skali (L) pročita se tražena vrijednost induktiviteta: 0,2 mH ili 200 μ H.

Drugi primjer: U titrajnom krugu nekog valomjera, pomoću kojega želimo obuhvatiti čitav srednji val (npr. od 500 do 1700 kHz), nalaži se promjenljivi kondenzator sa maksimalnim kapacitetom od 500 pF. Koliko velik smije biti njegov početni kapacitet, ako se u titrajnom krugu nalazi zavojnica sa induktivitetom od 200 μ H?

I ovaj se zadatak vrlo brzo rješava nomogramom. Pravac A , kao u predašnjem primjeru, pokazuje da je maksimalni kapacitet od 500 pF upravo dovoljan da se, uz induktivitet od 200 μ H postigne resonancija na 500 kHz. Sa istom zavojnicom (ista tačka na lijevoj skali za L) postiže se resonancija na 1700 kHz (tačka na srednjoj skali za F) uz kapacitet od 44 pF. Ovo čitamo na desnoj skali (za C), gdje ju siječe pravac B . Prema tome početni kapacitet u titrajnom krugu ne smije biti veći od 44 pF.

Ovaj se kapacitet sastoji od početnog kapaciteta promjenljivog kondenzatora i od tzv. »parazitskih« kapaciteta, koji potječu od spojnih žica, priključnica i dr. U valomjeru će parazitski kapaciteti

Ove kapacitete treba obračunati. Za početni kapacitet samog promjenljivog kondenzatora tada preostaje vrijednost: 24 ili 34 pF.

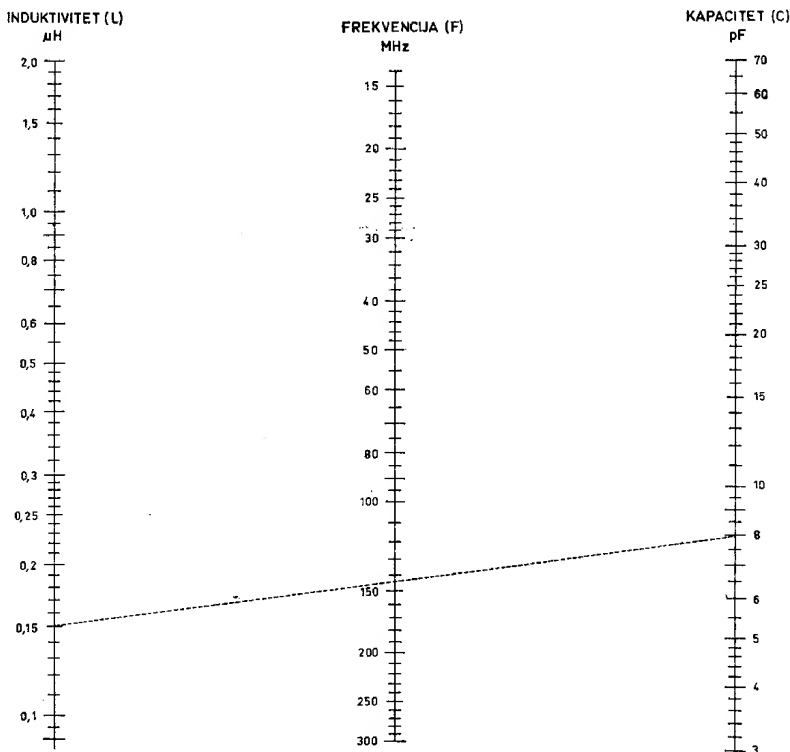


**NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE
KAPACITETA, INDUKTIVITETA I
RESONANTNE FREKVENCIJE
TITRAJNIH KRUGOVA
U PODRUČJU OD 15
DO 300 MHz**

Ovaj nomogram (sl. 26-3) vrlo je sličan predašnjemu. On obuhvaća one frekvencije s kojima se susrećemo pri gradnji UKV prijemnika i UKV predajnika. Način upotrebe je isti.

Primjer: Traži se vrijednost kapaciteta C uz koji će titrajni krug, sa zavojnicom inuktiviteta $0,15 \mu\text{H}$, resonirati na 144 MHz .

Na lijevoj skali (L) nađemo tačku koja odgovara vrijednosti inuktiviteta, na srednjoj skali (F) nađemo tačku koja odgovara frekvenciji. Pravac koji prolazi kroz ove dvije tačke siječe desnu skalu (C) kod broja 8. Traženi kapacitet je 8 pF .



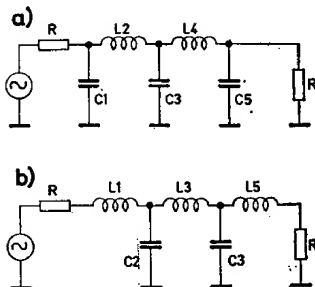
Sl. 26-3. Nomogram za određivanje vrijednosti kapaciteta i inuktiviteta u titrajnim krugovima za frekvencije između 15 i 300 MHz

Tablica 26-1. Pregled frekvencija kratkovalnih i ultrakratkovalnih amaterskih područja (za 1. region IARU, prema zaključcima Svjetske konferencije o radio-vezama, Ženeva, 1979)

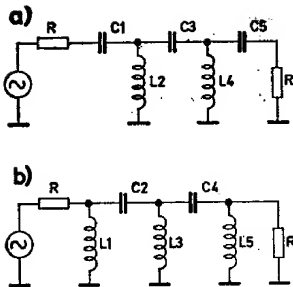
Opseg frekvencija:	Dužina vala:	Ime valnog područja	
1810 ... 1850 kHz	160 m	Kratki val (KV)	Hektometarski valovi
3500 ... 3800 kHz	80 m		Dekametarski valovi
7000 ... 7100 „	40 m		
10100 ... 10150 „	30 m*)		
14000 ... 14350 „	20 m		
18068 ... 18168 „	17 m*)		
21000 ... 21450 „	15 m		
24890 ... 24990 „	12 m*)		
28000 ... 29700 „	10 m		
144 ... 146 MHz	2 m	Ultra kratki val (UKV)	Metarski ili vrlo kratki valovi (VHF = Very High Frequency)
430 ... 440 MHz	70 cm		Decimetarski ili ultra kratki valovi (UHF = Ultra High Frequency)
1240 ... 1300 „	24 cm		
2300 ... 2450 „	13 cm		
3400 ... 3475 MHz	9 cm		Centimetarski ili super kratki valovi (SHF = Super High Frequency)
5650 ... 5850 „	5 cm		
10,00 ... 10,45 GHz	3 cm		
24,00 ... 24,05 „	1 cm		
47,00 ... 47,20 GHz	60 mm		Milimetarski ili ekstra kratki valovi (EHF = Ekstra High Frekvency)
75,50 ... 76,00 „	40 mm		
119,98 ... 120,02 „	25 mm		
142,00 ... 144,00 „	21 mm		
248,00 ... 250,00 „	12 mm		

*) Ovo su novi opsezi, predviđeni za rad amatera. Prepušta se pojedinim državama da odluče kada će ih amateri moći upotrebiti. Za sada je takvu odluku donijelo samo njih nekoliko.

VF FILTERI TIPA »BUTTERWORTH«



Sl. 26-4. Sheme dviju verzija niskopropusnog filtera tipa »Butterworth«. Oznake na slici odgovaraju oznakama na tablici 26-2 gdje su podaci za izračunavanje vrijednosti elemenata



Sl. 26-5. Visokopropusni filteri tipa »Butterworth« u dvije verzije. Podaci za izračunavanje vrijednosti elemenata su na tablici 26-2. Oznake na slici odgovaraju oznakama na tablici

Tablica 26-2. Osnovne vrijednosti za izračunavanje članova filtera tipa Butterworth (za impedanciju 1 Ω i frekvenciju 1 radijan/s), prema sl. 26-4 i sl. 26-5

Broj članova u filteru	C_1 L_1	L_2 C_2	C_3 L_3	L_4 C_4	C_5 L_5	L_6 C_6	C_7 L_7	L_8 C_8	C_9 L_9	L_{10} C_{10}
1	2.0000									
2	1.4142	1.4142								
3	1.0000	2.0000	1.0000							
4	0.7654	1.8478	1.8478	0.7654						
5	0.6180	1.6180	2.0000	1.6180	0.6180					
6	0.5176	1.4142	1.9319	1.9319	1.4142	0.5176				
7	0.4450	1.2470	1.8019	2.0000	1.8019	1.2470	0.4450			
8	0.3902	1.1111	1.6629	1.9616	1.9616	1.6629	1.1111	0.3902		
9	0.3473	1.0000	1.5321	1.8794	2.0000	1.8794	1.5321	1.0000	0.3473	
10	0.3129	0.9080	1.4142	1.7820	1.9754	1.9754	1.7820	1.4142	0.9080	0.3129

a) niskopropusni filter (sl. 26-4a i b):

$$L = \frac{R}{2\pi f_g L_i}, \quad C = \frac{1}{2\pi f_g R C_i}$$

b) visokopropusni filter (sl. 26-5a i b):

$$L = \frac{R}{2\pi f_g} L_i, \quad C = \frac{1}{2\pi f_g R} C_i$$

U pređašnjim formulama je R = priključna impedancija filtera; f_g = granična frekvencija, tj. ona kod koje prigušenje dostiže 3 dB.

Ako se R uvrsti u omima (Ω), f_g u hercima (Hz), izlazi L u henrijima (H) i C u faradima (F). (L_i i C_i su vrijednosti s tablice 26-2).

Prigušenje (A) određene frekvencije (f) takvim filterom može se izračunati:

$$A = 10 \log \left[1 + \left(\frac{f_g}{f} \right)^{2n} \right]$$

gdje n znači broj članova u filteru (zavojnice i kondenzatori zajedno!)

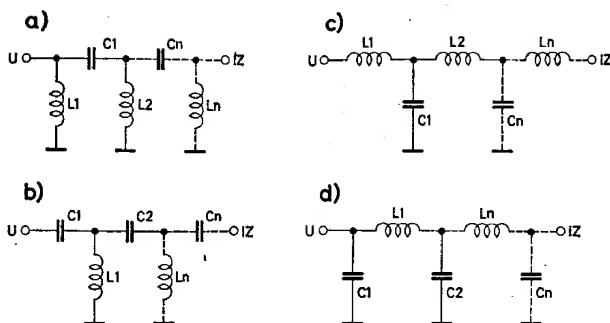
Ako je, npr. $f_g = 6$ MHz, $R = 52 \Omega$, izlazi za tročlani visokopropusni filter tipa Butterworth: $C_1 = C_3 = 510$ pF; $L_2 = 0,69 \mu\text{H}$. Prigušenje kod 7 MHz je samo 1,65 dB, dok je kod 3,5 MHz 14,21 dB.

VF FILTERI TIPA »CHEBYSHEV«

Tablica 26-3. Prigušivanje (atenuacija) viših harmoničkih frekvencija niskopropusnim filterom tipa Chebyshev (dB)

Broj člasova u filteru	Valovitost u pro- pusnom području	SWR	Više harmoničke frekvencije (f_g = granična frekvencija)					
			$2f_g$	$3f_g$	$4f_g$	$5f_g$	$6f_g$	$7f_g$
3	1 dB	2.66	22.46	34.05	41.88	47.85	52.68	56.73
	0.1 dB	1.36	12.24	23.60	31.42	37.39	42.22	46.29
	0.01 dB	1.10	4.08	13.73	21.41	27.35	32.18	36.24
	0.001 dB	1.03	0.63	5.13	11.68	17.42	22.20	26.25
5	1 dB	2.66	45.31	64.67	77.73	87.67	95.72	102.50
	0.1 dB	1.36	34.85	54.21	67.27	77.21	85.26	92.04
	0.01 dB	1.10	24.82	44.16	57.22	67.17	75.22	82.00
	0.001 dB	1.03	14.94	34.16	47.22	57.16	65.22	71.99
7	1 dB	2.66	68.18	95.29	113.57	127.49	138.77	148.26
	0.1 dB	1.36	57.72	84.83	103.11	117.03	128.31	137.80
	0.01 dB	1.10	47.68	74.78	93.07	106.99	118.27	127.75
	0.001 dB	1.03	37.68	64.78	83.06	96.98	108.26	117.75
9	1 dB	2.66	91.06	125.91	149.42	167.32	181.82	194.01
	0.1 dB	1.36	80.60	115.45	138.96	156.86	171.36	183.55
	0.01 dB	1.10	70.56	105.41	128.91	146.81	161.31	173.51
	0.001 dB	1.03	60.55	95.40	118.91	136.91	151.31	163.50

Napomena: Ista tablica vrijedi za visokopropusne filtere, ako se umjesto $2f_g$ stavi $f_g/2$ itd.



Sl. 26-6. Shema filtera tipa »Chebyshev«: a) visokopropusni PI-filter (tablica 26-4); visokopropusni TE-filter (tablica 26-5); c) niskopropusni TE-filter (tablica 26-6); d) niskopropusni PI-filter (tablica 26-7)

Tablica 26-4. Visokopropusni PI-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6a. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_s) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50 Ω .

Broj čla- nova u filteru	Valo- vitost u pro- pusnom području	Zavojnice (μH)					Kondenzatori (pF)			
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	C_1	C_2	C_3	C_4
3	1 dB	3.932	3.932				3201.7			
	0.1dB	7.714	7.714				2774.2			
	0.01 dB	12.65	12.65				3280.5			
	0.001 dB	19.47	19.47				4381.4			
5	1 dB	3.727	2.652	3.727			2917.3	2917.3		
	0.1 dB	6.939	4.029	6.939			2321.4	2321.4		
	0.01 dB	10.52	5.045	10.52			2439.3	2439.3		
	0.001 dB	1.466	6.074	1.466			2837.3	2837.3		
7	1 dB	7.159	5.014	5.014	7.159		1469.2	1391.6	1469.2	
	0.1 dB	6.737	3.795	3.795	6.737		2237.2	2023.1	2237.2	
	0.01 dB	9.985	4.552	4.552	9.985		2286.0	1949.1	2286.0	
	0.001 dB	13.50	5.195	5.195	13.50		2564.1	2057.7	2564.1	
9	1. dB	3.651	2.549	2.507	2.549	3.651	2844.1	2675.6	2675.6	2844.1
	0.1 dB	6.656	3.728	3,608	3.728	6.656	2206.5	1968.9	1968.9	2206.5
	0.01 dB	9.772	4.410	4.176	4.410	9.772	2230.5	1858.7	1858.7	2230.5
	0.001 dB	13.05	4.943	4.561	4.943	13.05	2466.3	1911.8	1911.8	2466.3

Za frekvenciju F (MHz) treba sve brojke dijeliti sa F . Za drugačiju impedanciju (Z_0) induktivitete množiti sa $Z_0/50$; kapacitete množiti sa $50/Z_0$.

Tablica 26-5. Visokopropusni TE-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6b. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_e) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50 Ω .

Broj čla- nova u filteru	Valo- vitost u pro- pusnom području	Kondenzatori (pF)					Zavojnice (μ H)			
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	L_1	L_2	L_3	L_4
3	1 dB	1573.0	1573.0				8.005			
	0.1 dB	3085.7	3085.7				6.935			
	0.01 dB	5059.1	5059.1				8.201			
	0.001 dB	7786.9	7786.9				10.95			
5	1 dB	1491.0	1060.7	1491.0			7.293	7.293		
	0.1 dB	2775.6	1611.7	2775.6			5.803	5.803		
	0.01 dB	4208.6	2018.1	4208.6			6.098	6.098		
	0.001 dB	5865.7	2429.5	5865.7			7.093	7.093		
7	1 dB	1469.2	1028.9	1028.9	1469.2		7.160	6.781	7.160	
	0.1 dB	2694.9	1518.2	1518.2	2694.9		5.593	5.058	5.593	
	0.01 dB	3994.1	1820.9	1820.9	3994.1		5.715	4.873	5.715	
	0.001 dB	5401.7	2078.0	2078.0	5401.7		6.410	5.144	6.410	
9	1 dB	1460.3	1019.8	1002.7	1019.8	1460.3	7.110	6.689	6.689	7.110
	0.1 dB	2662.2	1491.2	1443.3	1491.2	2662.2	5.516	4.922	4.922	5.516
	0.01 dB	3908.2	1764.1	1670.2	1764.1	3908.2	5.576	4.647	4.647	5.576
	0.001 dB	5218.3	1977.1	1824.6	1977.1	5218.3	6.657	4.780	4.780	6.657

Za frekvenciju F (MHz) treba sve brojke dijeliti sa F . Za drugačiju impedanciju (Z_0) induktivitete množiti sa $Z_0/50$; kapacitete množiti sa $50/Z_0$.

Tablica 26-6. Niskopropusni TE-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6c. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_r) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50 Ω

Broj čla- nova u filteru	Valo- vitost u pro- pusnom području	Zavojnice (μ H)					Kondenzatori (pF)			
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	C_1	C_2	C_3	C_4
3	1 dB	16.10	16.10				3164.3			
	0.1 dB	8.209	8.209				3652.3			
	0.01 dB	5.007	5.007				3088.5			
	0.001 dB	3.253	3.253				2312.6			
5	1 dB	16.99	23.88	16.99			3473.1	3473.1		
	0.1 dB	9.126	15.72	9.126			4364.7	4364.7		
	0.01 dB	6.019	12.55	6.019			4153.7	4153.7		
	0.001 dB	4.318	10.43	4.318			3571.1	3571.1		
7	1 dB	17.24	24.62	24.62	17.24		3538.0	3735.4	3538.0	
	0.1 dB	9.400	16.68	16.68	9.400		4528.9	5008.3	4528.9	
	0.01 dB	6.342	13.91	13.91	6.342		4432.2	5198.4	4432.2	
	0.001 dB	4.690	12.19	12.19	4.690		3951.5	4924.1	3951.5	
9	1 dB	17.35	24.84	25.26	24.84	17.35	3562.5	3786.9	3786.9	3562.5
	0.1 dB	9.515	16.99	17.55	16.99	9.515	4591.9	5146.2	5146.2	4591.9
	0.01 dB	6.481	14.36	15.17	14.36	6.481	4542.5	5451.2	5451.2	4542.5
	0.001 dB	4.854	12.81	13.88	12.81	4.854	4108.2	5299.0	5299.0	4108.2

Za frekvenciju F (MHz) treba sve brojke dijeliti sa F . Za drugačiju impedanciju (Z_0) induktivitete množiti sa $Z_0/50$; kapacitete množiti sa $50/Z_0$.

Tablica 26-7. Niskopropusni PI-filiter tipa Chebyshev, sl. 26-6d. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_c) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50 Ω

Broj čla- nova u filteru	Valo- vitost u pro- pusnom području	Kondenzatori (pF)					Zavojnice (μ H)			
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	L_1	L_2	L_3	L_4
3	1 dB	6441.3	6441.3				7.911			
	0.1 dB	3283.6	3283.6				9.131			
	0.01 dB	2002.7	2002.7				7.721			
	0.001 dB	1301.1	1301.2				5.781			
5	1 dB	6795.5	9552.2	6795.5			8.683	8.683		
	0.1 dB	3650.4	6286.6	3650.4			10.91	10.91		
	0.01 dB	2407.5	5020.7	2407.5			10.38	10.38		
	0.001 dB	1727.3	4170.5	1727.3			8.928	8.928		
7	1 dB	6896.4	9847.4	9847.4	6896.4		8.85	9.34	8.85	
	0.1 dB	3759.8	6673.9	6673.9	3759.8		11.32	12.52	11.32	
	0.01 dB	2536.8	5564.5	5564.5	2536.8		11.08	13.00	11.08	
	0.001 dB	1875.7	4875.9	4875.9	1875.7		9.879	12.31	9.879	
9	1 dB	6938.3	9935.8	10105.0	9935.8	6938.3	8.906	9.467	9.467	8.906
	0.1 dB	3805.9	6794.5	7019.9	6794.5	3805.9	11.48	12.87	12.87	11.48
	0.01 dB	2592.5	5743.5	6066.3	5743.5	2592.5	11.36	13.63	13.63	11.36
	0.001 dB	1941.7	5124.6	5553.2	5124.6	1941.7	10.27	13.25	13.25	10.27

Za frekvenciju F (MHz) treba sve brojke dijeliti sa F . Za drugačiju impedanciju (Z_0) induktivitete množi sa $Z_0/50$; kapacitete množiti sa $50/Z_0$.

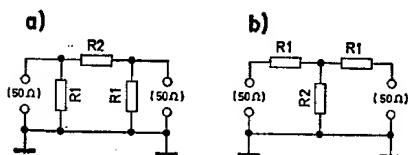
Tablica 26-8. PI-atenuator, prema sl. 26-7a

Za prigušenje (dB)	Otpornici R_1 (Ω)	Otpornik R_2 (Ω)
1	870,0	5,8
2	436,0	11,6
3	292,0	17,6
4	221,0	23,8
5	178,6	30,4
6	150,5	37,3
7	130,7	44,8
8	116,0	52,8
9	105,0	61,6
10	96,2	70,7
11	89,2	81,6
12	83,5	93,2
13	78,8	106,0
14	74,9	120,3
15	71,6	136,1
16	68,8	153,8
17	66,4	173,4
18	64,4	195,4
19	62,6	220,0
20	61,0	247,5
21	59,7	278,2
22	58,6	312,7
23	57,6	348,0
24	56,7	394,6
25	56,0	443,1
30	53,2	789,7
35	51,8	1406,1
40	51,0	2500,0
45	50,5	4442,7
50	50,3	7904,3
55	50,2	14061,5
60	50,1	25000,0

Tablica 26-9. TE-atenuator, prema sl. 26-7b

Za prigušenje (dB)	Otpornici R_1 (Ω)	Otpornik R_2 (Ω)
1	2,9	433,3
2	5,7	215,2
3	8,5	132,0
4	11,3	104,8
5	14,0	82,2
6	16,6	66,9
7	19,0	55,8
8	21,5	47,3
9	23,8	40,6
10	26,0	35,0
11	28,0	30,6
12	30,0	26,8
13	31,7	23,5
14	33,3	20,8
15	35,0	18,4
16	36,3	16,2
17	37,6	14,4
18	38,8	12,8
19	40,0	11,4
20	41,0	10,0
21	41,8	9,0
22	42,6	7,8
23	43,4	7,1
24	44,0	6,3
25	44,7	5,6
30	47,0	3,2
35	48,2	1,8
40	49,0	1,0
45	49,4	0,56
50	49,7	0,32
55	49,8	0,18
60	49,9	0,10

Sl. 26-7. Atenuatori sa otpornicima:
a) PI-atenuator (tablica 26-8); b) TE-atenuator (tablica 26-9)

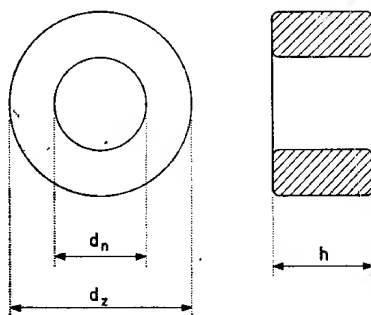


Tablica 26-10. Napon t snaga u odnosu prema 1 mW na 50 Ω (dBm)

Napon (μ V)	dBm	Snaga (W)	Napon (μ V)	dBm	Snaga (W)
0,05	-133	$5,0 \times 10^{-17}$	5	-33	$5,0 \times 10^{-7}$
0,06	-131,4	$7,2 \times 10^{-17}$	6	-31,4	$7,2 \times 10^{-7}$
0,07	-130	$9,8 \times 10^{-17}$	7	-30	$9,8 \times 10^{-7}$
0,08	-129	$1,3 \times 10^{-16}$	8	-29	$1,3 \times 10^{-6}$
0,09	-128	$1,6 \times 10^{-16}$	9	-28	$1,6 \times 10^{-6}$
0,1	-127	$2,0 \times 10^{-16}$	10	-27	$2,0 \times 10^{-6}$
0,2	-121	$8,0 \times 10^{-16}$	20	-21	$8,0 \times 10^{-6}$
0,3	-117,5	$1,8 \times 10^{-15}$	30	-17,5	$1,8 \times 10^{-5}$
0,4	-115	$3,2 \times 10^{-15}$	40	-15	$3,2 \times 10^{-5}$
0,5	-113	$5,0 \times 10^{-15}$	50	-13	$5,0 \times 10^{-5}$
0,6	-111,4	$7,2 \times 10^{-15}$	60	-11,4	$7,2 \times 10^{-5}$
0,7	-110	$9,8 \times 10^{-15}$	70	-10	$9,8 \times 10^{-5}$
0,8	-109	$1,3 \times 10^{-14}$	80	-9	$1,3 \times 10^{-4}$
0,9	-108	$1,6 \times 10^{-14}$	90	-8	$1,6 \times 10^{-4}$
1	-107	$2,0 \times 10^{-14}$	100	-7	$2,0 \times 10^{-4}$
2	-101	$8,0 \times 10^{-14}$	200	-1	$8,0 \times 10^{-4}$
3	-97,5	$1,8 \times 10^{-13}$	223,6	0	1 mW
4	-95	$3,2 \times 10^{-13}$	300	+2,3	1,8 mW
5	-93	$5,0 \times 10^{-13}$	400	+5,1	3,2 mW
6	-91,4	$7,2 \times 10^{-13}$	500	+7	5,0 mW
7	-90	$9,8 \times 10^{-13}$	600	+8,6	7,2 mW
8	-89	$1,3 \times 10^{-12}$	700	+10	9,8 mW
9	-88	$1,6 \times 10^{-12}$	800	+11	12 mW
10	-87	$2,0 \times 10^{-12}$	900	+12,1	16,2 mW
20	-81	$8,0 \times 10^{-12}$	1 V	+13	20 mW
30	-77,5	$1,9 \times 10^{-11}$	2 V	+19	80 mW
40	-75	$3,2 \times 10^{-11}$	3 V	+23	0,18 W
50	-73	$5,0 \times 10^{-11}$	4 V	+25	0,32 W
60	-71,4	$7,2 \times 10^{-11}$	5 V	+27	0,5 W
70	-70	$9,8 \times 10^{-11}$	6 V	+28,6	0,72 W
80	-69	$1,2 \times 10^{-10}$	7 V	+30	0,98 W
90	-68	$1,6 \times 10^{-10}$	8 V	+31	1,3 W
100	-67	$2,0 \times 10^{-10}$	9 V	+32,1	1,6 W
200	-61	$8,0 \times 10^{-10}$	10 V	+33	2,0 W
300	-57,5	$1,8 \times 10^{-9}$	20 V	+39	8,0 W
400	-55	$3,2 \times 10^{-9}$	30 V	+43	18 W
500	-53	$5,0 \times 10^{-9}$	40 V	+45	32 W
600	-51,4	$7,2 \times 10^{-9}$	50 V	+47	50 W
700	-50	$9,8 \times 10^{-9}$	60 V	+48,6	72 W
800	-49	$1,2 \times 10^{-8}$	70 V	+50	98 W
900	-48	$1,6 \times 10^{-8}$	80 V	+51	128 W
1 mV	-47	$2,0 \times 10^{-8}$	90 V	+52,1	162 W
2 mV	-41	$8,0 \times 10^{-8}$	100 V	+53	200 W
3 mV	-37,5	$1,8 \times 10^{-7}$	200 V	+59	800 W
4 mV	-35	$3,2 \times 10^{-7}$	300 V	+63	1800 W

Tablica 26-11. Pregled domaćih feritnih prstenastih (toroidnih) jezgri
(»Iskra — Ljubljana«). Vidi sl. 26-9

Oznaka	Dimenzije		
	d_z (mm)	d_n (mm)	h (mm)
FT 5	$5,85 \pm 0,25$	$3,05 \pm 0,12$	$1,5 \pm 0,2$
FT 6	$6,3 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,15$	$2,5 \pm 0,12$
FT 10	$10 \pm 0,25$	$6 \pm 0,15$	$4 \pm 0,15$
FT 12	$12,5 \pm 0,35$	$6,2 \pm 0,2$	$4 \pm 0,35$
FT 12,5	$12,5 \pm 0,35$	$7,5 \pm 0,25$	$12 \pm 0,35$
FT 13	$13 \pm 0,3$	$7 \pm 0,25$	$3 \pm 0,3$
FT 15	$15,5 \pm 0,4$	$7,5 \pm 0,2$	$9 \pm 0,2$
FT 16	$16 \pm 0,4$	$8 \pm 0,3$	$6 \pm 0,25$
FT 18	$18 \pm 0,4$	$5,8 \pm 0,3$	$8 \pm 0,3$
FT 19	$19 \pm 0,45$	$11 \pm 0,35$	$15 \pm 0,35$
FT 20	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,35$	$7 \pm 0,4$
FT 23	$22,5 \pm 0,5$	$12,3 \pm 0,3$	$11,2 \pm 0,3$
FT 26	$26 \pm 0,55$	$14,5 \pm 0,35$	$30 \pm 0,45$
FT 28	$27,5 \pm 0,5$	$14,9 \pm 0,4$	$20 \pm 0,6$
FT 30	$29,5 \pm 0,9$	$20 \pm 0,4$	$7 \pm 0,3$
FT 36	$36 \pm 0,9$	$23 \pm 0,6$	22 ± 1
FT 42	42 ± 1	$26 \pm 0,65$	$18 \pm 0,7$
FT 44	$44,5 \pm 1,5$	$24,35 \pm 0,85$	$22 \pm 1,5$



Sl. 26-8. Izgled feritnog prstena (toroida): d_z = vanjski promjer, d_n = unutrašnji promjer, h = visina (vidi tablicu 26-11)

Tablica 26-12. »Elvefer« feritni materijali za prstenaste (toroidne) jezgre

Oznaka	Vrijednosti A_L faktora za prstenaste feritne jezgre (vidi tablicu 26—11)						
	3F $\mu_i = 125$	2C $\mu_i = 300$	10G $\mu_i = 550$	8G $\mu_i = 2200$	9G $\mu_i = 3500$	19G $\mu_i = 4300$	22G $\mu_i = 6000$
FT 5	24	60					
FT 6				560	880	1 080	1 510
FT10		120			1 430	1 750	2 450
FT12		460		3 400	5 400	6 630	9 250
FT12,5					4 300	4 300	7 350
FT13			200				
FT15				2 870	4 570	5 620	7 840
FT16		250					
FT18		540			6 340	7 790	10 870
FT19				3 600	5 740	7 050	9 840
FT20		290			3 400	4 170	5 820
FT23					4 730	5 820	8 110
FT27				5 140	8 170	10 040	
FT28					8 580	10 540	
FT30				1 200			
FT36	240			4 340	6 900	8 470	
FT42					6 040	7 420	
FT44				5 970	9 500	11 660	

»Faktor induktiviteta« (A_L) može se izračunati:

$$A_L = 0,2 \times h \times \ln \frac{d_z}{d_n} \times \mu_i (nH)$$

(Vidi: »Zavojnice na feromagnetičkim materijalima«, u 25. poglavlju, str. 769). Tvornica preporučuje za uskopojasne VF transformatore feritni materijal »Elvefer« 8G; za širokopojasne VF transformatore 3F. Za postizavanje velikog induktiviteta kod malih dimenzija, npr. za VF prigušnice, preporučuje se 19G.

Tablica 26-13. Podaci o bakrenim žicama za transformatore i prigušnice

Promjer žice (mm)	Promjer sa izolacijom (CuL) *) (mm)	Maksimalna struja uz 2,5 A/mm ² (A)	Otpor po metru dužine**) (Ω/m)	Broj zavoja na presjek od 1 cm ² (zavoja/cm ²)
0,03	0,045	0,0018	24,9	45000
0,04	0,055	0,0031	14,1	25000
0,05	0,062	0,005	9,0	20000
0,06	0,075	0,007	6,26	15000
0,07	0,085	0,010	4,60	11000
0,08	0,095	0,013	3,52	9000
0,09	0,108	0,016	2,79	7000
0,10	0,115	0,020	2,25	6000
0,11	0,13	0,024	1,86	5000
0,12	0,14	0,028	1,57	4400
0,13	0,15	0,033	1,34	3600
0,14	0,16	0,038	1,15	3200
0,15	0,17	0,044	1,01	2800
0,16	0,18	0,050	0,88	2500
0,18	0,20	0,063	0,696	2000
0,20	0,22	0,079	0,563	1650
0,22	0,24	0,095	0,465	1400
0,25	0,27	0,123	0,361	1100
0,28	0,31	0,154	0,287	870
0,30	0,33	0,177	0,250	770
0,32	0,35	0,201	0,220	690
0,35	0,38	0,240	0,184	580
0,38	0,41	0,284	0,156	500
0,40	0,43	0,314	0,141	450
0,42	0,45	0,346	0,128	420
0,45	0,48	0,400	0,111	370
0,48	0,51	0,452	0,098	320
0,50	0,54	0,490	0,090	300
0,55	0,59	0,594	0,0745	250
0,60	0,64	0,710	0,0626	210
0,65	0,69	0,830	0,0550	180
0,70	0,74	0,960	0,0460	160
0,75	0,79	1,10	0,0400	140
0,80	0,84	1,26	0,0352	120
0,85	0,90	1,42	0,0320	110
0,90	0,95	1,60	0,0278	100
0,95	1,00	1,77	0,0249	90
1,00	1,05	1,96	0,0225	83

Promjer žice (mm)	Promjer sa izolacijom (CuL)* (mm)	Maksimalna struja uz 2,5 A/mm ² (A)	Otpor po metru dužine** (Ω/m)	Broj zavoja na presjek od 1 cm ² (zavoja/cm ²)
1,10	1,16	2,37	0,0186	67
1,20	1,26	2,83	0,0157	55
1,30	1,36	3,32	0,0133	45
1,40	1,46	3,85	0,0115	40
1,50	1,56	4,42	0,0100	33
1,60	1,66	5,04	0,0088	28
1,70	1,76	5,67	0,0078	24
1,80	1,86	6,35	0,0070	17
1,90	1,96	7,10	0,0062	14
2,00	2,07	7,86	0,0056	12
2,10	2,17	8,66	0,0052	11
2,20	2,27	9,50	0,0047	10
2,30	2,37	10,4	0,0043	9
2,40	2,47	11,3	0,0039	8
2,50	2,57	12,3	0,0036	7

*) Oznaka CuL kaže da je bakrena žica izolirana lakom. Ostale izolacije (CuLS = bakrena žica, izolirana lakom i svilom; CuSS= bakrena žica, izolirana dva puta svilom; CuP=bakrena žica, izolirana pamukom itd.) su deblje i rjeđe su u upotrebi.

**) Otpor bakrene žice ovisi o kvaliteti bakra i o tačnosti promjera, pa je kod različitih tvornica različit.

Tablica 26-14. Američke i britanske mjere za žicu i njihove vrijednosti u milimetrima

Oznaka za debljinu žice	Debljina žice za AWG*) (mm)	Debljina žice za BWG**) (mm)	Debljina žice za ISWG***) (mm)
0000 (4/0)	11,68	11,53	10,16
000 (3/0)	10,41	10,80	9,45
00 (2/0)	9,27	9,65	8,84
0 (1/0)	8,25	8,64	8,23
1	7,35	7,62	7,62
2	6,54	7,21	7,01
3	5,83	6,58	6,40
4	5,19	6,05	5,89
5	4,62	5,59	5,38
6	4,11	5,16	4,88
7	3,66	4,57	4,47
8	3,26	4,19	4,06
9	2,90	3,76	3,66
10	2,59	3,40	3,25
11	2,30	3,05	2,95
12	2,05	2,77	2,64
13	1,83	2,41	2,34
14	1,63	2,11	2,03
15	1,45	1,83	1,83
16	1,29	1,65	1,63
17	1,15	1,47	1,42
18	1,02	1,24	1,22
19	0,91	1,07	1,02
20	0,81	0,89	0,92
21	0,72	0,81	0,81
22	0,64	0,71	0,71
23	0,57	0,64	0,61
24	0,51	0,56	0,56
25	0,45	0,51	0,51
26	0,40	0,46	0,46
27	0,36	0,41	0,41
28	0,32	0,356	0,36
29	0,29	0,33	0,33
30	0,25	0,305	0,305
31	0,23	0,254	0,29
32	0,20	0,229	0,27
33	0,18	0,203	0,254
34	0,16	0,178	0,229
35	0,14	0,127	0,203
36	0,13	0,102	0,178
37	0,11	—	0,17
38	0,10	—	0,15
39	0,09	—	0,127
40	0,08	—	0,12

*) Američka mjera »American Wire Gauge«.

**) Britanska mjera »Birmingham Wire Gauge«.

***) Britanska mjera »Imperial Standard Wire Gauge« (ili »SWG«).

Tablica 26-15. Preračunavanje dijelova inča (Inch) u milimetre

Dijelovi inča (") izraženi u obliku razlomaka						mm
1/32	1/16	1/8				= 0,79375
3/32						
5/32	3/16		1/4			= 3,96875
7/32						
9/32	5/16	3/8				= 7,14375
11/32						
13/32	7/16			1/2		= 10,31875
15/32						
17/32	9/16	5/8				= 13,49375
19/32						
21/32	11/16		3/4			= 16,66875
23/32						
25/32	13/16	7/8				= 19,84375
27/32						
29/32	15/16				1/1	= 23,01875
31/32						
1 mil = 0,001 inch = 0,001" = 0,0254 mm						1' = 12"

Tablica 26-16. Niske frekvencije, važne za elektroakustiku

Frekvencija f (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Muzički ton	Dužina vala zvuka kod 20°C i 760 tor. (m)
16,35	102,73	C_2	20,98
20	125,66		17,15
20,60	129,43		16,65
30	188,5	E_2	14,33
38,87	244,23	H_2	8,824
49	307,88	G_1	7,0
50	314,16	A_1	6,86
55	345,57		6,236
98	615,75		3,5
100	628,32	G	3,43
110	691,15		3,118
440	2764,6		0,7795
783,99	4925,95	a^1	0,4375
795,775	5000	g^2	0,4310
800	5026,55	h^2	0,4288
987,77	6206,34		0,3473
1000	6283,19		0,3430
1046,51	6575,42	c^3	0,3278
6000	37699,11		0,0572
6271,97	39407,95		0,0547
10000	62831,85	g^5	0,0343
10548,13	66275,85		0,0325
12000	75398,22		0,0286
12543,93	78815,84	e^6	0,0273
15000	94247,78		0,0229
15804,36	99301,72		0,0217
20000	125663,70	h^6	0,0172
30000	188495,56		0,0143

Tablica 26-17. Zvučna snaga muzičkih instrumenata i glasova

Instrument (ili glas)	Maksimalna snaga (W)	Opseg glasnoće		Opseg frekvencije (Hz)
		u daljini	fona	
Violina	0,001	—	—	180 do 2600
Sopran	0,002	1 m	50 do 100	250 do 3000
Klavir	0,27	3 m	60 do 100	30 do 4186
Flauta	1,5	1 m	75 do 95	220 do 2100
Orgulje	12,5	25 m	60 do 100	16,35 do 14000
Orkestar	67	3 m	55 do 100	25 do 14000

Tablica 26-18. Doba dana (UT) kada se može očekivati mogućnost amaterskih veza na velike daljine (DX)

80-metarski opseg (3,5 do 3,8 MHz):

Kontinent	Broj sunčanih pjega	Ljeto	Proljeće i jesen	Zima
Sjev. Amerika	min.	02.00—03.30	00.45—05.30	23.00—08.00
	maks.	02.00—03.15	01.45—05.15	01.00—07.30
Juž. Amerika	min.	00.00—03.30	01.00—05.30	01.00—07.30
	maks.	00.15—03.15	01.30—05.15	03.00—07.30
Juž. Afrika	min.	20.30—03.30	20.30—04.30	21.00—03.45
	maks.	21.30—03.15	21.30—04.00	23.30—03.15
Istočna Azija	min.	18.45—21.00	18.15—21.30	17.30—23.15
	maks.	19.15—20.30	18.45—21.00	18.15—22.30
Australija i Oceanija	min.	19.30—21.30	17.30—20.15	16.45—19.45
	maks.	19.45—21.15	17.45—20.00	17.00—19.30

40-metarski opseg (7,0 do 7,1 MHz):

Kontinent	Broj sunčanih pjega	Ljeto	Proljeće i jesen	Zima
Sjev. Amerika	min.	22.45—06.30	20.30—07.45	17.30—01.15 09.00—12.00
	maks.	01.00—05.30	23.00—06.15	20.00—10.00
Juž. Amerika	min.	19.30—06.45	20.30—07.30	20.00—10.00
	maks.	20.45—05.15	21.30—06.00	22.30—08.30
Juž. Afrika	min.	19.00—06.15	17.30—07.00	17.30—07.00
	maks.	20.30—05.00	20.00—05.15	19.00—06.00
Istočna Azija	min.	17.00—22.30	16.00—22.00	14.30—19.00
	maks.	19.00—21.45	18.00—24.00	14.00—23.45
Australija i Oceanija	min.	17.45—07.45 (05.00—06.00)	16.00—22.15 05.00—08.30	14.45—22.15 06.45—10.15
	maks.	18.45—22.15 04.30—06.30	17.00—01.00 05.30— 8.00	15.30—20.00 07.30—09.15

20-metarski opseg (14,0 do 14,35 MHz):

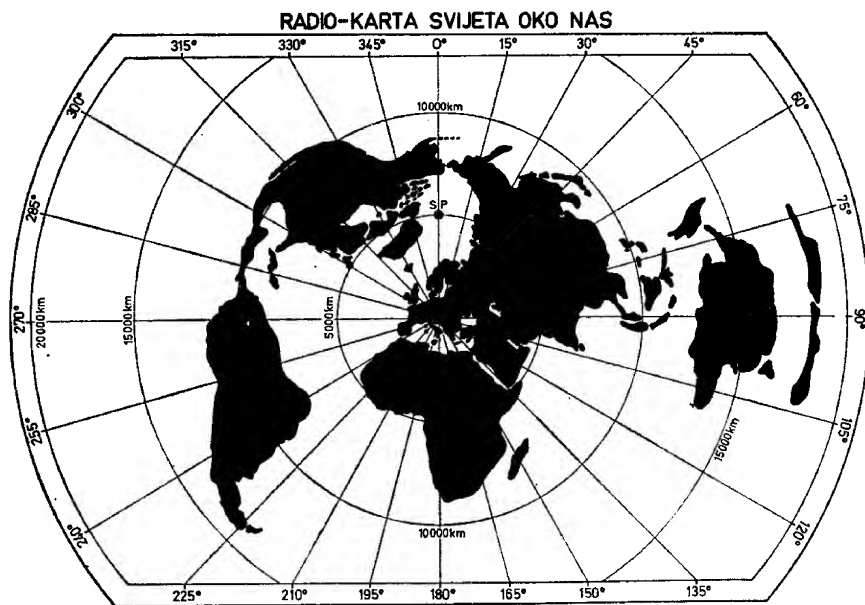
Kontinent	Broj sunčanih pjega	Ljeto	Proljeće i jesen	Zima
Sjev. Amerika	min.	16.30—02.30 05.00—09.30	09.30—21.30 —	12.00—18.15 —
	maks.	18.30—08.30	07.45—01.30	10.00—20.30
Juž. Amerika	min.	15.30—00.30 05.30—11.30	06.30—22.30 —	08.15—19.00 —
	maks.	19.00—03.30 04.15—08.45	17.00—09.00 —	06.45—12.00 14.30—22.00
Juž. Afrika	min.	05.45—20.30	05.30—21.00	07.15—18.30
	maks.	03.30—10.00 15.30—22.15	15.30—00.45 04.15—09.30	05.15—11.00 13.30—21.15
Istočna Azija	min.	03.15—10.00 13.30—22.30	05.15—14.45 —	06.35—11.30 —
	maks.	15.00—07.15	02.45—18.00	05.00—14.00
Australija i Oceanija	min.	02.30—08.00 18.30—24.00	18.30—22.15 05.00—08.45	16.00—17.30 07.45—12.00
	maks.	16.30—07.30 —	10.00—01.00 03.30—10.15	06.15—21.30 —

15-metarski opseg (21,0 do 21,45 MHz):

Kontinent	Broj sunčanih pjega	Ljeto	Proljeće i jesen	Zima
Sjev. Amerika	min.	—	—	13.00—18.00
	maks.	15.00—03.00	11.00—23.00	12.30—20.00
Juž. Amerika	min.	16.00—22.45	11.00—22.00	10.00—18.45
	maks.	09.00—07.00	09.30—03.00	08.00—20.30
Juž. Afrika	min.	12.00—17.30	07.00—21.00	08.00—18.00
	maks.	06.00—23.00	06.30—02.00	07.00—19.30
Istočna Azija	min.	—	09.15—16.30	07.00—14.30
	maks.	04.00—24.00	06.00—19.30	06.30—17.00
Australija i Oceanija	min.	—	—	07.00—14.30
	maks.	04.30—15.00 —	05.45—19.45 22.00—01.00	06.30—17.00 —

10-metarski opseg (28,0 do 29,7 MHz):

Kontinent	Broj sunčanih pjega	Ljeto	Proljeće i jesen	Zima
Sjev. Amerika	min.	—	—	—
	maks.	20.15—23.15	10.45—21.00	12.15—17.30
Juž. Amerika	min.	—	—	—
	maks.	15.00—23.30	10.30—22.15	09.30—18.30
Južna Afrika	min.	—	—	—
	maks.	06.15—19.15	05.45—19.15	06.45—17.30
Istočna Azija	min.	—	—	—
	maks.	05.00—09.30	05.00—11.15	06.30—11.15
Australija i Oceanija	min.	—	—	—
	maks.	04.15—09.00 20.30—23.45	05.15—10.00 19.30—22.45	06.30—13.30 —



Sl. 26-9. Geografska karta svijeta za odabiranje smjera antene za radio-veze na velike daljine (DX). Nacrtana je tako da su smjerovi i udaljenosti u skladu s geografskim odnosima, uz uvjet da se nalazimo 16° istočno od Greenwich-a i na 46° sjeverno od ekvatora (Zagreb). Bez prevelike pogreške može se upotrebiti u čitavoj Jugoslaviji. SP = sjeverni pol

Tablica 26-19. Pregled najvažnijih simbola za crtanje shema

	vodovi se ukrštavaju, ali nisu spojeni		zavojnica (na VF jezgri, sa odvojkom) ili VF prigušnica		dioda (D)
	međusobno spojeni vodovi		NF prigušnica		Zenerova dioda
	produženje istog voda		transformator (niskofrekventni ili za tehn. izmjeničnu struju)		varikap dioda (varaktor)
	oklopljeni vod (koaksijalni)		T		žaruljica, sijalica
	priključnica		otpornik		tinjatica, stabilizatorska cijev
	koaksijalna priključnica		promjenjivi otpornik, potencijometar		indirektno grijana dioda
	prekidač		polupromjenjivi otpornik („trimerski“)		direktno grijana duo-dioda (ispravljačica)
	telegrafsko tipkalo („tasler“)		kondenzator		trioda (žarna nit nije nacrtana)
	dvopolni preklopnik		promjenjivi kondenzator		pentoda (ostale elektronske cijevi crtaju se na sličan način)
	višepolni preklopnik		polupromjenjivi kondenzator („trimerski“)		tranzistor (P-N-P)
	slušalice		kondenzator sa 2 statora i 1 rotorom (leptirasti)		tranzistor (N-P-N)
	zvučnik		elektrolitički kondenzator		„FET“ (tranzistor)
	mikrofon		piezoelektrolitički kristal (kvarc)		
	galvanska baterija		anena		
	galvanski element		dipol-antena		
	osigurač		spoj sa zemljom (uzemljenje)		
	električni mjerni instrument		spoj sa oklopom ili sa šasijom		

SADRŽAJ

PREDGOVOR — — — — —	3
1. RADIO-AMATERSKA ORGANIZACIJA U SVIJETU I KOD NAS	
HISTORIJAT ELEKTROKOMUNIKACIJA — — — — —	5
Postanak radija — — — — —	5
RADIO-AMATERIZAM — — — — —	7
Pionirski dani — — — — —	7
Radio-amaterizam danas — — — — —	9
Novija nastojanja u radio-amaterizmu — — — — —	9
Radio-amateri i specijalne radio-veze — — — — —	10
RADIO-AMATERSKE ORGANIZACIJE — — — — —	13
Radio-amaterizam u Jugoslaviji — — — — —	13
Žene radio-amateri — — — — —	14
PREGLED VAŽNIJIH DOGAĐAJA U TEHNICI ELEKTRO-VEZA I U RADIO-AMATERIZMU — — — — —	15
2. OSNOVNI POJMOVI EKEKTRO-TEHNIKE I ELEKTRONIKE	
ELEKTRICITET — — — — —	17
Električno polje i napon — — — — —	17
Električni kapacitet — — — — —	19
Vodiči i izolatori — — — — —	19
ELEKTRIČNA STRUJA — — — — —	19
Vrste struja i jakost struje — — — — —	19
Oblici struja i frekvencija — — — — —	20
Izvori električne struje — — — — —	21
ELEKTRIČNI OTPOR — — — — —	22
Ohmov zakon i električni otpor — — — — —	22
Strujni krug — — — — —	23
Grananje struje — — — — —	24
Pad napona — — — — —	24
Snaga i rad električne struje — — — — —	24
Jedinica »decibel« — — — — —	25
ELEKTROMAGNETIZAM — — — — —	26
Magnetizam i elektromagnetizam — — — — —	26
Elektro-magnetska indukcija — — — — —	28
IZMJENIČNE STRUJE — — — — —	28
Karakteristične veličine — — — — —	28
Kompleksni otpor — — — — —	29
Skin-efekt — — — — —	31
OSNOVNI RADIO-TEHNIČKI ELEMENTI — — — — —	31
Otpornik — — — — —	31

Kondenzator	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34
Zavojnica	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35
Transformator	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37
JEDNOSTAVNI SKLOPOVI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38
Sklop RC i sklop RL. Vremenska konstanta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38
Titrajni krug	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39
Realni titrajni krug	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
Karakteristike titrajnih krugova	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41
Veze između titrajnih krugova	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42
Filteri	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44
KRISTALI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46
Karakteristike kristala	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46

3. ELEKTRONSKE I IONSKE CIJEVI

ELEKTRONSKE I IONSKE CIJEVI. NJIHOVA ULOGA NEKAD I SADA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48
SVOJSTVA ELEKTRONSKIH I IONSKIH CIJEVI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49
Dioda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49
Trioda i njene karakteristike	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50
Elektronske cijevi s više mrežica	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52
Višestruke elektronske cijevi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54
Tinjalica	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54
PRIMJENA ELEKTRONSKIH CIJEVI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55
Zajednička elektroda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55
Pojačalo s triodom	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57
Izbor radne tačke	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57
Automatski prednapon mrežice	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59
Veza između stupnjeva pojačala	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60
Izlazno pojačalo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61
Povratna veza	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	62
Oscilatori	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	62

4. POLUVODIČKE DIODE I TRANZISTORI

KRISTALNI POLUVODIČI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65
Svojstva kristalnih poluvodiča	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	66
KRISTALNE DIODE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	67
Spoj p-tipa i n-tipa kristala	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	67
Karakteristike kristalnih dioda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	68
Varikap-dioda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69
PIN-dioda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70
Primjene kristalnih dioda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70
TRANZISTORI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72
Bipolarni tranzistori	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72
Tehnologija tranzistora	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	73
Tranzistori sa efektom polja (FET)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75
Jednospojni tranzistor (UJT)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77
Tiristor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	78
Karakteristike tranzistora	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	78
Karakteristike FET-a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79
Zajednička elektroda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79
Stabilizacija radne tačke	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	81

PRIMJENA TRANZISTORA — — — — —	82
Pojačala s tranzistorima — — — — —	82
Tranzistorski oscilatori — — — — —	83
Odnos tranzitora prema polaritetu izvora struje napajanja —	84
Preostali poluvodički proizvodi za radio-tehniku i elektroniku —	84

5. INTEGRIRANI SKLOPOVI

LINEARNI INTEGRIRANI SKLOPOVI — — — — —	86
Operacijska pojačala — — — — —	87
Građa operacijskih pojačala — — — — —	88
Integrirani stabilizatori napona — — — — —	92
DIGITALNI ILI LOGIČKI SKLOPOVI — — — — —	93
Osnovni logički sklopovi — — — — —	94
Bistabili — — — — —	95
PRINCIP DIGITALNOG MJERENJA FREKVENCIJE — — — — —	98

6. IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE

IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POGON RADIO-UREĐAJA —	101
OSNOVNA SVOJSTVA I VRSTE ISPRAVLJAČA — — — — —	102
Princip ispravljanja — — — — —	102
Punovalno ispravljanje i umnažanje napona u ispravljačima —	103
ISPRAVLJAČKI FILTERI — — — — —	104
Vrste filtera — — — — —	104
Proračun kondenzatora. Filtracija — — — — —	105
Visokonaponski ispravljač sa poluvodičkim diodama — — —	108
PROMJENA I STABILIZACIJA ISTOSMJERNIH NAPONA — — —	109
Razdjelnici napona sa otpornicima — — — — —	109
Stabilizacija napona tinjalicama — — — — —	110
Primjena Ženerovih dioda — — — — —	111
Stabilizacija napona s tranzistorima — — — — —	112
Integrirani sklopovi u stabilizatorima napona — — — — —	113
Integrirani stabilizator napona kao stabilizator struje — — —	116
Izbor stabiliziranog napona prema potrebi — — — — —	116
Odabrane sheme ispravljača za samogradnju — — — — —	118
Preostali izvori električne energije — — — — —	123

7. NISKOFREKVENTNA POJAČALA

Nekoliko općih napomena — — — — —	124
Najjednostavnije tranzistorsko NF pojačalo — — — — —	124
Mikrofoni i njihova najvažnija svojstva — — — — —	125
Mikrofonska pretpojačala — — — — —	127
Popravljanje i regulacija boje zvuka — — — — —	131
PRIMJERI NF POJAČALA ZA SAMOGRADNJU — — — — —	132
NF pojačalo sa komplementarnim parom germanijevih tranzistora — — — — —	133
NF pojačalo sa silicijevim tranzistorima i stabilizatorom napona	134
NF pojačalo s tranzistorima tipa V-MOS — — — — —	136
NF pojačalo sa specijalnim integriranim sklopovima — — —	137
40-vatno NF pojačalo sa pretpojačalom — — — — —	141

8. VISOKOFREKVENTNI OSCILATORI

Oscilatori u radio-tehnici — — — — — — — — — —	145
OSCILATORI PROMJENLJIVE FREKVENCIJE — — — — —	146
Oscilatori sa induktivnom povratnom vezom — — — — —	146
Kapacitivna povratna veza u oscilatorima — — — — —	147
Problem stabilnosti frekvencije kod VFO-a — — — — —	151
OSCILATORI S KVARCOVIM KRISTALIMA — — — — —	153
Nekoliko svojstava kvarcovih kristala za oscilatore — — — — —	153
Oscilatori na osnovnoj frekvenciji kristala — — — — —	154
»Overtonski« oscilatori — — — — —	156
Pravilno ugađanje kristalnih oscilatora — — — — —	159
UREĐAJI ZA SINTEZU FREKVENCIJE — — — — —	159
Sinteza frekvencije miješanjem — — — — —	160
Sinteza frekvencije digitanim integriranim sklopovima, PLL — — — — —	160
Višestruke PLL regulacijske petlje — — — — —	161
Neobičan VFO sa PLL kontrolom za samogradnju — — — — —	163

9. PRIJEMNICI

VRSTE PRIJEMNIKA — — — — — — — — — —	166
GLAVNE KARAKTERISTIKE PRIJEMNIKA — — — — —	168
Osjetljivost — — — — — — — — — —	168
Selektivnost — — — — — — — — — —	169
Prisutnost neželjenih signala — — — — —	170
Unakrsna modulacija i blokiranje prijemnika — — — — —	171
Stabilnost — — — — — — — — — —	172
DETEKCIJA I DETEKTORI — — — — — — — — — —	172
Diodni detektori — — — — — — — — — —	173
Aktivni detektor s beskonačnom impedancijom — — — — —	174
Audionski i autodinski detektori — — — — —	175
Heterodinski i produkt-detektori — — — — —	176
UGAĐANJE PRIJEMNIKA I PROMJENA VALNOG PODRUČJA — — — — —	178
Ugađanje — — — — — — — — — —	178
Promjena valnog područja — — — — — — — — — —	178
Razvlačenje uskih valnih područja — — — — —	179
Upotreba višestrukih promjenljivih kondenzatora — — — — —	181
VISOKOFREKVENTNA POJAČALA — — — — — — — — — —	182
STUPANJ ZA MIJEŠANJE U SUPERIMA — — — — —	184
Miješanje sa elektronskim cijevima — — — — —	184
Tranzistori u stupnjevima za miješanje — — — — —	184
Konvertorski stupnjevi s jednim tranzistorom — — — — —	186
Protufazni (balans) mikseri — — — — —	188
Pasivni protufazni stupnjevi za miješanje — — — — —	189
Oscilatori za konverziju frekvencije — — — — —	192
MEĐUFREKVENTNO POJAČALO — — — — — — — — — —	193
Izbor međufrekvencije — — — — — — — — — —	193
Nekoliko tipičnih shema — — — — — — — — — —	195
Povećanje selektivnosti — — — — — — — — — —	195
DRUGI DETEKTOR I POMOĆNI OSCILATOR (BFO) — — — — —	200
AUTOMATSKA REGULACIJA POJAČANJA — — — — —	201
UKLJUČIVANJE S-METRA — — — — — — — — — —	204

OGRANIČENJE SMETNJA I ŠUMA — — — — —	207
Vrste smetnja i šumova — — — — —	207
Ograničenje amplitude — — — — —	208
Uklanjanje impulsnih smetnja u demodulatoru i u međufrekventnom pojačalu — — — — —	208
NISKOFREKVENTNO POJAČALO U PRIJEMNIKU — — — — —	210
SAMOGRAĐNJA, DA ILI NE? — — — — —	210
IZBOR SHEMA ZA PRIJEMNIKE — — — — —	211
Nekoliko jednostavnijih prijemnika — — — — —	211
Tranzistorski prijemnik za sve kratke valove — — — — —	213
Prijemnik za opseg od 3,5 MHz — — — — —	215
PRIJEMNICI S DIREKTNOM KONVERZIJOM — — — — —	217
Prijemnik s direktnom konverzijom za 80-metarsko amatersko valno područje sa pet tranzistora — — — — —	217
Direktna konverzija sa integriranim sklopom TBA-120 — — — — —	219
KRATKOVALNI KONVERTORI — — — — —	220
Stabilan kratkovalni konvertor s dva tranzistora — — — — —	220
Konvertor sa simetričnim stupnjem za miješanje — — — — —	221
Konvertor za prijem frekvencija između 14 i 30 MHz — — — — —	221
NEKOLIKO KRATKOVALNIH SUPERA — — — — —	222
Mali super za eksperimentiranje — — — — —	222
Kratkovalni super sa domaćim MOSFET tranzistorima — — — — —	224
Kratkovalni super s visokom međufrekvencijom — — — — —	228
Prijemnik sa integriranim sklopovima — — — — —	230
Komunikacijski prijemnici tvorničke proizvodnje — — — — —	232
DODATNI UREĐAJI ZA POBOLJŠANJE PRIJEMA — — — — —	234
Filteri i valolovke — — — — —	234
Ulazni atenuatori — — — — —	235
Atenuator s PIN diodama — — — — —	237
Visokofrekventno pojačalo i preselektor za sve kratkovalne frekvencije od 3,3 do 33 MHz — — — — —	238
NISKOFREKVENTNI FILTERI ZA POVEĆANJE SELEKTIVNOSTI — — — — —	240
Niskofrekventni filter s jednim tranzistorom — — — — —	240
Filteri sa RC-mrežama — — — — —	241
Operacijska integrirana pojačala u aktivnim NF filterima — — — — —	241
Savremena verzija filtera »selektobjekt« — — — — —	244

10. UKV PRIJEMNICI

O NEKIM SPECIFIČNOSTIMA UKV TEHNIKE — — — — —	246
Ultravisoke frekvencije i ultrakratki valovi — — — — —	246
Titrajni krugovi za ultravisoke frekvencije — — — — —	246
Utjecaj šumova na prijem UKV — — — — —	249
Tranzistori i diode za UKV prijemnike — — — — —	252
VISOKOFREKVENTNA POJAČALA ZA UKV — — — — —	253
Tranzistorska visokofrekventna pojačala za UKV — — — — —	253
Specijalna malošumna UKV pojačala — — — — —	258
STUPNJEVI ZA MIJEŠANJE U UKV PRIJEMNIKU — — — — —	261
Oscilatori za konverziju ultravisokih frekvencija — — — — —	265
DVOMETARSKI KONVERTORI I TUNERI — — — — —	265
Konvertori za prijem u dvometarskom opsegu — — — — —	265
Dvometarski tuneri — — — — —	271

PRIJEMNI UREĐAJI ZA 432 MHz I VIŠE	— — — — —	274
Konvertori za 70-centimetarsko područje	— — — — —	274
Konvertor za prijem amaterskog opsega od 1296 MHz	— — — — —	281

11. KRATKOVALNI PREDAJNICI

VRSTE PREDAJNIKA	— — — — —	284
OSCILATORI	— — — — —	286
UMNOŽAVANJE FREKVENCIJE	— — — — —	286
PRETPOJAČALA I POBUDNI STUPNJEVI U PREDAJNIKU	— — — — —	292
Izbor radnih uvjeta za pojačala snage u predajniku	— — — — —	292
Veza između pojedinih stupnjeva	— — — — —	296
Nekoliko prilagodnih LC-mreža i njihov proračun	— — — — —	300
NEKONTROLIRANE I PARAZITSKE OSCILACIJE	— — — — —	302
Neutralizacija u predajniku	— — — — —	302
Parazitske oscilacije	— — — — —	306
GG i GB pojačala u predajniku	— — — — —	307
IZLAZNI STUPNJEVI PREDAJNIKA	— — — — —	308
Ulazna, izlazna i pobudna snaga	— — — — —	309
Izračunavanje pravilnog opterećenja	— — — — —	311
Izlazni titrajni krugovi i veza s potrošačem	— — — — —	312
UKLJUČIVANJE MJERNIH INSTRUMENATA	— — — — —	317
SMJERNICE ZA IZBOR NEKIH SASTAVNIH DIJELOVA	— — — — —	318
Kondenzatori	— — — — —	318
Zavojnice	— — — — —	319
Visokofrekventne prigušnice	— — — — —	320
RADIO-TELEGRAFIJA	— — — — —	321
Morse-ovi telegrafski znakovi	— — — — —	321
Uključivanje telegrafskog tipkala u predajnik	— — — — —	324
Monitori telegrafije	— — — — —	332
Utišavanje prijemnika za vrijeme dok predajnik radi	— — — — —	333
Automatska elektronička tipkala za telegrafiju	— — — — —	334
Zaštita prijemnika	— — — — —	337
IZBOR SHEMA KRATKOVALNIH PREDAJNIKA	— — — — —	339
QRP-predajnik za opseg od 3,5 MHz	— — — — —	339
Mini QRPP s digitalnim integriranim sklopovima	— — — — —	340
Jednostavan predajnik s dva tranzistora	— — — — —	341
Dvovratni ili desetvratni predajnik za 3,5 MHz, za kristal ili za VFO	— — — — —	342
Upotreba elektronskih cijevi u manjim kratkovalnim izlaznim stupnjevima	— — — — —	346
Nekoliko tranzistorskih kratkovalnih izlaznih stupnjeva	— — — — —	349
Linearna kratkovalna snažna pojačala	— — — — —	355
Osamstovatno linearno pojačalo za kratke valove	— — — — —	361
Koliku snagu treba radioamater? QRO ili QRP?	— — — — —	365

12. UKV PREDAJNICI

NEKO LIKO UVODNIH NAPOMENA	— — — — —	367
Glavne vrste UKV predajnika	— — — — —	367
O izboru frekvencije za pomoćne kvarcove oscilatore u UKV predajnicima	— — — — —	369

PREDAJNICI ZA 144 MHz — — — — —	371
Tranzistorski predajnik za 144 MHz — — — — —	371
Savremeni dvometarski predajnik sa PLL-kontrolom frekvencije	373
POJAČALA SNAGE ZA DVOMETARSKI OPSEG FREKVENCIJA —	376
Važna svojstva snažnih pojačala za UKV — — — — —	376
Pojačala snage za 144 MHz s elektronskim cijevima — — —	379
Izlazni dvometarski PA sa QQE 06/40 i zaštitnom cijevi — —	381
Linearno pojačalo snage za 144 MHz — — — — —	383
Linearno UKV pojačalo snage sa jednim tranzistorom — — —	384
Preporuke za postupak sa snažnim tranzistorima za UKV — —	387
Dvometarsko linearno pojačalo snage s dva tranzistora — —	388
Pojačalo za telegrafiju i FM u klasi C, za 12 W na 145 MHz —	392
Dodatno VF pojačalo za povećanje izlazne snage — — — — —	393
50 W s dva tranzistora na dva metra — — — — —	395
Korisni pomoćni uređaji uz tranzistorska pojačala VF snage —	399
ODASILJAČKI UREĐAJI ZA 432 MHz — — — — —	401
Eksperimentalni utrostručivač frekvencije — — — — —	401
Varaktorski utrostručivač frekvencije — — — — —	402
Tranzistori kao umnoživači frekvencije na 432 MHz — — —	405
Utrostručivač frekvencije s cijevima — — — — —	406
Najsavremenije i najbolje: miješanjem! — — — — —	408
Linearno pojačalo za 432 MHz sa dva tranzistorska stupnja u klasi AB — — — — —	410
25 vata na 70 centimetara — — — — —	412
Kako doseći još više frekvencije? — — — — —	413

13. AMPLITUDNA MODULACIJA

AMPLITUDNO MODULIRANI SIGNAL — — — — —	415
PRIMJERI AMPLITUDNE MODULACIJE KOD ELEKTRONSKIH CIJEVI I TRANZISTORA — — — — —	418
Anodna modulacija — — — — —	418
Modulacija anode i druge mrežice — — — — —	419
Kolektorska modulacija — — — — —	420

14. SSB TELEFONIJA

PRINCIP TELEFONIJE S JEDNIM BOČNIM POJASOM (SSB) —	426
POTISKIVANJE VALA NOSIOCA — — — — —	428
Potiskivanje vala nosioca triodama — — — — —	428
Tranzistorski DSB-generator — — — — —	429
Diodni balans-modulatori — — — — —	429
SSB GENERATORI — — — — —	431
Pretvaranje DSB-signalu u SSB pomoću filtera — — — — —	431
Kristalni filteri za samogradnju — — — — —	435
Primjer savremenog filterskog SSB generatora — — — — —	438
SSB generatori faznog tipa — — — — —	439
NF POJAČALA ZA SSB TELEFONIJU — — — — —	446
PROMJENA FREKVENCIJE — — — — —	446
LINEARNA VF POJAČALA ZA SSB — — — — —	447
NOVIJE PRIMJENE SSB TEHNIKE — — — — —	448

Dvovrsna modulacija istog vala nosioca (ISB) — — — — —	448
Visokofrekventni »audio procesor« — — — — —	449
POMOĆNI UREĐAJI ZA SSB PREDAJNIKE — — — — —	450
Sklop za ograničenje izlazne snage — — — — —	450
Automatsko uključivanje i isključivanje predajnika — — — — —	452

15. FREKVENTNA MODULACIJA

PRINCIP I SVOJSTVA FREKVENTNE MODULACIJE — — — — —	455
MODULATORI FREKVENCIJE — — — — —	458
Direktna frekventna modulacija — — — — —	458
Fazna ili indirektna frekventna modulacija — — — — —	461
DEMODULACIJA FM SIGNALA — — — — —	462
Prijem FM signala običnim prijemnicima — — — — —	462
Ograničenje amplitude FM signala — — — — —	462
Specijalni FM demodulatori — — — — —	463
Prijemni adapter za frekventnu modulaciju — — — — —	467
PLL demodulator za frekventno modulirane signale — — — — —	470
NEKE OSOBITOSTI PRIJEMNIKA ZA FM SIGNALE — — — — —	471
Utišavanje prijemnika dok nema signala — — — — —	471
Automatska kontrola frekvencije prijemnog oscilatora — — — — —	472
Uključivanje S-metra — — — — —	474
NEKI PROBLEMI KOD PREDAJNIKA S FREKVENTNOM MODULACIJOM — — — — —	474
Ograničenje devijacije kod FM predajnika — — — — —	474
PRIMJER SAVREMENOG DVOMETARSKOG PREDAJNIKA ZA FM — — — — —	480
Opće napomene — — — — —	480
Kvarcov pobudni oscilator — — — — —	481
Niskofrekventno pojačalo za faznu modulaciju — — — — —	481
Fazni modulator i stupnjevi predajnika za 0,5 W na 145 MHz — — — — —	482
Kako postići veću izlaznu snagu predajnika? — — — — —	485

16. PRIMOPREDAJNICI

PRINCIP PRIMOPREDAJNIKA — — — — —	486
NEKOLIKO SPECIJALNIH SKLOPOVA ZA PRIMOPREDAJNIKE — — — — —	488
Promjena frekvencije oscilatora za vrijeme prijema — — — — —	488
Oscilator »vala nosioca« ujedno je i BFO — — — — —	490
Jedan filter za dvije zadaće — — — — —	490
»Bilateralni« sklopovi za primopredajnike — — — — —	492
SAVREMENI KRATKOVALNI PRIMOPREDAJNICI — — — — —	493
Primopredajnici za sve kratkovalne opsege — — — — —	493
KRATKOVALNI PRIMOPREDAJNIK ZA SAMOGRADNJU — — — — —	497
Prije odluke treba razmisliti: šta i kako? — — — — —	497
Kako započeti? Kojim redom graditi? — — — — —	499
Niskofrekventno pojačalo snage sa monitorom — — — — —	500
Izbor demodulatora — — — — —	502
Oscilator promjenljive frekvencije — — — — —	505
Gradnja prijemnog dijela — — — — —	507
Odašiljački dio primopredajnika — — — — —	513
Kako ćemo izmjeriti izlaznu snagu? — — — — —	516
Prvo uključivanje predajnika i ispitivanje — — — — —	517
Kontrolno ispitivanje u laboratoriju — — — — —	518

Ovisnost izlazne snage o pogonskom naponu — — — — —	518
Sastavljanje primopredajnika »QRP-80« — — — — —	519
Završne pripreme za rad primopredajnika — — — — —	522
Odnos između prijemne i predajne frekvencije — — — — —	522
Povećanje izlazne snage dodatnim VF pojačalom — — — — —	523
PRIMOPREDAJNICI ZA UKV — — — — —	524
Primopredajnici s kvarcovim kristalima — — — — —	524
Transverteri za sve vrste signala na UKV frekvencijama — — — — —	526
Upotreba prekidačkih dioda u primopredajnicima — — — — —	529
PRIMOPREDAJNICI ZA VEZE MIKROVALOVIMA — — — — —	535
PASIVNE MIKROVALNE KOMPONENTE — — — — —	536
Valovodi — — — — —	536
Mikrovalni resonator — — — — —	538
Usmjereni sprežnik — — — — —	538
GUNN-ova DIODA, AKTIVNI MIKROVALNI ELEMENT — — — — —	538
PRIMOPREDAJNIK ZA 10 GHz — — — — —	539
Blok-shema primopredajnika — — — — —	539
Tehnika međufrekventne razlike — — — — —	540
Oscilator sa Gunn-ovom diodom — — — — —	540
Sklop za napajanje i modulaciju — — — — —	547
Međufrekventno pojačalo — — — — —	547
Uključivanje i ugađanje uređaja — — — — —	548
Mogućnosti poboljšanja primopredajnika — — — — —	550

17. ISPITIVANJE I KONTROLA RADA PREDAJNIKA

POTREBA ISPITIVANJA I KONTROLE — — — — —	552
SREDSTVA ZA ISPITIVANJE PREDAJNIKA — — — — —	552
ISPITIVANJE I KONTROLA TELEGRAFIJE — — — — —	554
OSCILOSKOPSKO ISPITIVANJE AMPLITUDNO MODULIRANIH PREDAJNIKA — — — — —	555
Pribor i uređaj za ispitivanje AM — — — — —	555
Trapez i trokut modulacije — — — — —	556
Modulacijska anvelopa — — — — —	559
ISPITIVANJE RADA SSB PREDAJNIKA — — — — —	560
Pribor i uređaj za osciloskopsko ispitivanje SSB predajnika i linearnih VF pojačala — — — — —	560
Ispitivanje SSB predajnika faznog tipa — — — — —	561
Osciloskopsko ispitivanje rada SSB predajnika filterskog tipa i linearnih pojačala — — — — —	563
ODREĐIVANJE VELIČINE DEVIJACIJE FM SIGNALA — — — — —	565

18. ŠIRENJE RADIO-VALOVA

KARAKTERISTIKE RADIO-VALOVA — — — — —	567
Elektromagnetski valovi — — — — —	567
Polarizacija valova — — — — —	568
ŠIRENJE VALOVA U DALJINU — — — — —	568
Površinski val — — — — —	568
Prostorni val — — — — —	569

IONOSFERA — — — — —	569
UTJECAJ IONOSFERE NA ŠIRENJE KRATKIH VALOVA — —	571
DX na kratkim valovima — — — — —	571
Pojava mrtve zone — — — — —	571
Kritična i maksimalna frekvencija — — — — —	572
Pojava fadinga — — — — —	573
SIRENJE ULTRAKRATKIH VALOVA — — — — —	574
Kvazi-optičko širenje i normalan domet — — — — —	574
Utjecaj osobitih stanja ionosfere — — — — —	575
Troposferska inverzija i meteorološki utjecaji — — — — —	576
Radio-veze putem Mjeseca i umjetnih satelita — — — — —	578
19. ANTENE	
ANTENA I ANTENSKI SISTEM — — — — —	579
ANTENSKI VODOVI I KABELI — — — — —	579
Širenje radio-valova uzduž žica — — — — —	579
Opterećeni dvojni vod — — — — —	582
Odnos stojnih valova — — — — —	583
Princip transformiranja impedancije — — — — —	583
Vrste i svojstva antenskih vodova — — — — —	585
Ispitivanje koaksijalnih kabela — — — — —	589
OSNOVNE VRSTE ANTENA — — — — —	589
Cetvrtvalna antena — — — — —	589
Poluvalna antena — — — — —	592
SPAJANJE ANTENSKOG VODA SA DAVAČEM — — — — —	593
Priključivanje koaksijalnih kabela — — — — —	593
»Baluni« i transformatori impedancije — — — — —	594
Prilagođivači impedancije sa primjenom induktiviteta i kapaciteta — — — — —	598
NEKOLIKO JEDNOSTAVNIH KV ANTENA — — — — —	601
Jednostruki dipoli — — — — —	601
Dvostruki i trostruki dipol — — — — —	603
Fuchs-ova antena — — — — —	604
Windom antena, VS1AA i FD-4 — — — — —	605
Dijagrami zračenja »dugačkih« antena — — — — —	606
SPECIJALNE MULTIBAND ANTENE — — — — —	607
Dipol za četiri opsega — — — — —	607
Antena »W3DZZ« — — — — —	608
Širokopojasna, aperiodička antena »T2FD« — — — — —	609
USMJERENE KRATKOVALNE ANTENE — — — — —	610
»Cubical Quad« — — — — —	610
Japanska »mini loop« antena — — — — —	612
Uzdužno i poprečno usmjeravanje dipolima — — — — —	614
»Lijeno H« — — — — —	615
VERTIKALNE KRATKOVALNE ANTENE — — — — —	616
»Ground-Plane« — — — — —	616
»Multiband GP« — — — — —	616
»Jot« antena — — — — —	617
DIPOLI ZA ULTRAKRATKE VALOVE — — — — —	617
Dvostruki dipol od aluminijske cijevi — — — — —	617
Dipol, načinjen od plosnatog dvojnog voda — — — — —	618

USMJERAVANJE PARAZITSKIM ELEMENTIMA	— — — —	619
Dvoelementne antene	— — — —	619
Troelementna antena	— — — —	620
PRILAGOĐENJE KOD ANTENA S PARAZITSKIM ELEMENTIMA		620
Dvostruki dipol sa transformacijom impedancije	— — — —	620
Prilagođenje T-transformatorom	— — — —	621
»Gama« transformator	— — — —	621
YAGI ANTENE	— — — —	622
Općenito o Yagi antenama	— — — —	622
O gradnji Yagi antena za UKV	— — — —	624
»Jagica« sa pet ili šest elemenata	— — — —	625
»Long Yagi«	— — — —	630
DVOREDNE UKV ANTENE SA »SLOT« RADIJATOROM	— — — —	632
Dvoredne antene za UKV	— — — —	632
Originalni »slot« sa prilagođenjem »delta«	— — — —	632
»Slot« sa četvrtvalnim resonatorom	— — — —	633
Dvoredne, usmjerene antene sa »slotom«	— — — —	634
QUAD-YAGI ili »KVAGI« ANTENA	— — — —	635
DELTA LOOP I DVOSTRUKI DELTA LOOP	— — — —	636
Princip »delta loop« antene	— — — —	636
Dvostruka »delta loop« antena	— — — —	638
KOLINEARNE ANTENE	— — — —	639
Vertikalna kolinearna antena »RINGO 2M«	— — — —	639
Kolinearna UKV antena sa 16 elemenata	— — — —	640
SPREZANJE VEĆEG BROJA ANTENA	— — — —	641
LOGARITMIČKO PERIODIČNA ANTENA	— — — —	643
NEKOLIKO NAPOMENA	— — — —	644
Učvršćenje antene	— — — —	644
Uzemljenje	— — — —	645

20. PREVOZNI I PRENOSNI RADIO-UREĐAJI

RADIO-STANICA KAO PRATILAC NA PUTOVANJU I NA IZLETU.		
PRIJATELJ U NEVOLJI	— — — —	646
IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POKRETNE RADIO-STANICE	— — — —	648
Galvanske baterije	— — — —	648
Mali nikalj-kadmijevi akumulatori	— — — —	648
Olovni i čelični akumulatori	— — — —	648
Automobilski akumulator	— — — —	650
Sunčane ili solarne baterije	— — — —	651
Uređaji za kontrolu punjenja akumulatora	— — — —	652
Kako napuniti 12-voltni akumulator iz 12-voltnog izvora	— —	653
PRENOSNI GENERATORI IZMJENIČNE STRUJE	— — — —	654
Tranzistorski pretvarači struje	— — — —	654
Benzinski agregati za proizvodnju električne struje	— —	656
ANTENE POKRETNIH RADIO-STANICA	— — — —	657
Antene za kratke valove	— — — —	658
Mobilne UKV antene	— — — —	662
UKV antene za prenosne radio-stanice	— — — —	663
POJAVE SMETNJA U »RADIOFICIRANOM« AUTOMOBILU	— —	668

21. MJERNI INSTRUMENTI I MJERENJA

MJERENJE STRUJE, NAPONA I OTPORA — — — — —	670
Princip ampermetra i voltmetra — — — — —	670
Mjerenje otpora — — — — —	671
Voltmetri za izmjenične napone — — — — —	672
Elektronički voltmetar — — — — —	673
Sonda za VF ispitivanja — — — — —	675
ISPITIVANJE CIJEVI, DIODA I TRANZISTORA — — — — —	676
Jednostavan ispitivač elektronskih cijevi — — — — —	676
Ispitivanje ispravljačkih dioda — — — — —	677
Ispitivači tranzistora — — — — —	678
MJERENJE KAPACITETA I NIŽIH FREKVENCIJA — — — — —	680
Mjerač kapaciteta sa linearnom skalom — — — — —	680
Mjerenje nižih frekvencija instrumentom sa linearnom skalom — — — — —	681
VF INDIKATORI, APSORPCIONI VALOMJERI I DIP-METRI — — — — —	684
Indikatori visokih frekvencija — — — — —	684
Apsorpcioni valomjeri — — — — —	684
Grad-dip-metri sa cijevima — — — — —	687
Tranzistorski dip-metri — — — — —	689
Upotreba dip-metra — — — — —	691
GENERATORI SIGNALA — — — — —	695
Generatori niskofrekventnih signala — — — — —	695
Servisni signal-generator za frekvencije između 200 kHz i 16 MHz — — — — —	695
Generatori VF signala s kvarcovim kristalima — — — — —	697
STANDARDNE FREKVENCIJE — — — — —	699
Radio-stanice sa standardnim frekvencijama — — — — —	699
Sekundarni standardi frekvencije — — — — —	699
GENERATORI ŠUMA — — — — —	704
Generator šuma s diodom — — — — —	704
Upotreba generatora šuma — — — — —	704
REFLEKTOSKOPI I SWR-METRI — — — — —	705
Reflektoskopi sa žaruljicama — — — — —	705
Princip SWR-metra — — — — —	706
SWR-metri za samogradnju — — — — —	707
MJERENJE IZLAZNE SNAGE DAVAČA — — — — —	710
Pravilno opterećenje davača pri mjerenju — — — — —	710
»Lažna antena« za samogradnju — — — — —	711
Vatmetarska sonda za male UKV odašiljače — — — — —	713
MJERENJE JAKOSTI POLJA — — — — —	714
MJERENJE IMPEDANCIJE ANTENSKOG SISTEMA — — — — —	715
KONTROLA I BAŽDARENJE S-METRA — — — — —	718

22. SMETNJE RADIO-PRIJEMU I TELEVIZIJI

RADIO-AMATER I SUSJEDI — — — — —	721
Pojava smetnja kao poseban problem — — — — —	721
UKLANJANJE IZVORA SMETNJA — — — — —	722
Antenski sistem — — — — —	722
Priključak na električnu mrežu — — — — —	723
Val nosilac i modulacija — — — — —	723
Parazitske oscilacije — — — — —	724

Harmoničke frekvencije	— — — — — — — — — —	724
Dodatni filteri za kratkovalne uređaje	— — — — — — — — — —	725
Filteri za UKV predajnike	— — — — — — — — — —	728
Oklapanje radio-uređaja	— — — — — — — — — —	731
ZAŠTITNE MJERE KOD SUSJEDA	— — — — — — — — — —	732
Radio-prijemnici i NF pojačala	— — — — — — — — — —	732
Televizori	— — — — — — — — — —	734

23. SMETNJE OD ELEKTRIČNIH UREĐAJA I STROJEVA

IZVORI SMETNJA	— — — — — — — — — —	742
OTKLANJANJE SMETNJA NA NJIHOVOM IZVORU	— — — — — — — — — —	742
»Blokiranje« smetnja	— — — — — — — — — —	742
Filtriranje	— — — — — — — — — —	744
Otklanjanje smetnja od medicinskih aparata	— — — — — — — — — —	745
Otklanjanje smetnja od automobilskih motora	— — — — — — — — — —	746
ZAŠTITA RADIO-UREĐAJA	— — — — — — — — — —	747

24. AMATERSKA RADIO-STANICA

Uređaji amaterske radio-stanice	— — — — — — — — — —	748
ODRŽAVANJE AMATERSKIH RADIO-VEZA	— — — — — — — — — —	749
Pozivni znakovi	— — — — — — — — — —	749
RST-skala	— — — — — — — — — —	750
Kratice	— — — — — — — — — —	750
Dokumenti o održanim vezama	— — — — — — — — — —	752
Održavanje radio-veze telefonijom	— — — — — — — — — —	754

25. AMATERSKA RADIONICA

RADNO MJESTO	— — — — — — — — — —	758
Alat i pribor	— — — — — — — — — —	758
Razvodna ploča	— — — — — — — — — —	759
Lemljenje	— — — — — — — — — —	760
Učvršćivanje sastavnih dijelova	— — — — — — — — — —	762
OZNAČIVANJE ELEMENATA	— — — — — — — — — —	762
Označivanje otpornika i kondenzatora	— — — — — — — — — —	762
NEKOLIKO PRORAČUNA	— — — — — — — — — —	766
Potrošak električne energije	— — — — — — — — — —	766
Proračun mrežnog transformatora	— — — — — — — — — —	766
Induktivitet jednoslojne, cilindrične zavojnice	— — — — — — — — — —	768
Zavojnice na feromagnetičkim materijalima	— — — — — — — — — —	769
Određivanje promjera žice	— — — — — — — — — —	770

26. NOMOGRAMI I TABLICE

NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE OTPORA PARALELNO SPOJENIH OTPORNIKA I KAPACITETA SERIJSKI SPOJENIH KONDENZA- TORA	— — — — — — — — — —	771
NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE KAPACITETA, INDUKTIVITETA I REZONANTNE FREKVENCIJE TITRAJNIH KRUGOVA U PO- DRUČJU OD 20 kHz DO 100 MHz	— — — — — — — — — —	772

NOMOGRAM ZA ODREĐIVANJE KAPACITETA, INDUKTIVITETA I RESONANTNE FREKVENCije TITRAJNIH KRUGOVA U PODRUČJU OD 15 DO 300 MHz — — — — —

774

Tablica 2-1. Relativna dielektričnost i probojni naponi najvažnijih izolatora — — — — —	18
Tablica 2-2. Decimalni prefiksi mjernih jedinica — — — — —	18
Tablica 2-3. Odnosi izraženi decibelima — — — — —	26
Tablica 3-1. Funkcije različitih mrežica u elektronskim cijevima — — — — —	53
Tablica 7-1. Niskofrekventni naponi koje daju različiti mikrofoni (za govor normalne glasnoće, na daljini 10 cm od mikrofona) — — — — —	127
Tablica 7-2. Mjerni podaci o snažnom pojačalu, prema sl. 7-22. Uz integrirani sklop TBA 800 upotrebljen je komplementarni par tranzistora 2N3055 i BDW 52 — — — — —	141
Tablica 8-1. Zavojnice i kondenzatori za Vackár-ov oscilator — — — — —	150
Tablica 8-2. Karakteristike kvarcovih kristala — — — — —	154
Tablica 9-1. Raspored pojačanja po različitim stupnjevima kratkovalnih prijemnika (za CW i SSB) — — — — —	171
Tablica 9-2. Titrajni krugovi za superheterodinske prijemnike (prema sl. 9-22) — — — — —	187
Tablica 9-3. Popis produkata miješanja dviju frekvencija u različitim mikserima — — — — —	192
Tablica 9-4. Zavojnice za kratkovalne prijemnike tipa O-V-1 (vidi sl. 9-56) — — — — —	214
Tablica 9-5. Zavojnice za kratkovalni super (prema sl. 9-66) — — — — —	224
Tablica 10-1. Pregled sastavnih dijelova za mikser sa međufrekventnim pretpojačalom, prema sl. 10-28 — — — — —	264
Tablica 11-1. Maksimalne vrijednosti kapaciteta C_2 (sl. 11-37) — — — — —	314
Tablica 11-2. Vrijednosti sastavnih dijelova za Pi-filter »Collins« — — — — —	315
Tablica 11-3. Debljina žica za zavojnice u predajnicima — — — — —	320
Tablica 11-4. Morse-ovi telegrafski znakovi — — — — —	322
Tablica 11-5. Zavojnice za 800-vatno linearno KV pojačalo — — — — —	363
Tablica 12-1. Zavojnice za tranzistorski UKV predajnik (sl. 12-6) — — — — —	373
Tablica 12-2. Zavojnice za dvometarski predajnik sa PLL-kontrolom frekvencije — — — — —	375
Tablica 12-3. Odnosi izlazne snage i neželjenih produkata u nekim linearnim pojačalima snage za 144 MHz, uz normalne radne uvjete i pravilnu pobudu — — — — —	377
Tablica 12-4. Neželjeni produkti kod linearnog pojačala snage za 144 MHz u ovisnosti o pobudnoj snazi kod elektronske cijevi 4X150A (uz anodni napon od 2 000 V) — — — — —	378
Tablica 12-5. Zavojnice za uređaj, prema sl. 12-41, kojim se putem miješanja postižu 70-centimetarske frekvencije — — — — —	409
Tablica 13-1. Utjecaj modulacije na jakost antenske struje — — — — —	418
Tablica 13-2. Zavojnice za tranzistorski UKV predajnik (sl. 13-5) — — — — —	424
Tablica 14-1. Ovisnost potiskivanja neželjenog bočnog pojasa o tačnosti pomaka faze (VF ili NF) u generatoru SSB signala faznom metodom — — — — —	444
Tablica 16-1. Podaci za namatanje zavojnica prijemnog dijela u primopredajniku »QRP-80« — — — — —	510
Tablica 16-2. Podaci za motanje zavojnica odašiljačkog dijela u primopredajniku »QRP-80«. Izgled zavojnica je na sl. 14b, a motane su lakiranim Cu žicom promjera 0,4 mm — — — — —	514

Tablica 16-3. Upoređivanje mjernih podataka o radu predajnika uz upotrebu različitih izlaznih tranzistora — — — — —	517
Tablica 16-4. Podaci o zavojnicama UKV transvertera prema sl. 16-33	533
Tablica 16-5. Dimenzije za rezanje lima prema sl. 16-49 — — — — —	544
Tablica 16-6. Podaci o zavojnicama u MF pojačalu za primopredajnik na 10 GHz (sl. 16-55) — — — — —	548
Tablica 19-1. Antenski vodovi i kabeli — — — — —	586
Tablica 19-2. Podaci za gradnju »Cubical Quad« antene (sl. 19-43 i sl. 19-45), prema K. Rothammel-u (Y21BK) — — — — —	611
Tablica 19-3. Maksimalni dobitak kod različitih Yagi-antena — — — — —	622
Tablica 19-4. Tipične dimenzije Yagi-antena za 145 i za 435 MHz — — — — —	626
Tablica 19-5. Dimenzije »Long-Yagi« antene za dvometarski opseg (sl. 19-66) — — — — —	631
Tablica 19-6. Podaci za gradnju »KVAGI« antene (sl. 19-71), prema K. Rothammel-u (Y21BK). Vidi i tekst — — — — —	636
Tablica 20-1. Podaci za namatanje transformatora za strujne pretvarače, sl. 20-11 i sl. 20-12 — — — — —	655
Tablica 20-2. Dužine žica za antenu prema sl. 20-15 — — — — —	659
Tablica 20-3. Podaci o zavojnici koja se stavlja u mobilnu, vertikalnu antenu (prema sl. 20-16b) — — — — —	661
Tablica 20-4. Podaci o helikoidnim antenama (sl. 20-23) — — — — —	667
Tablica 21-1. Zavojnice apsorpcionog valomjera (sl. 21-22) — — — — —	686
Tablica 21-2. Podaci za dip-metar sa MOSFET-om, sl. 21-33, uz promjenljivi kondenzator (C_s) od 35 pF maksimalnog kapaciteta — — — — —	690
Tablica 21-3. Približni podaci za namatanje zavojnice za signal-generator, prema sl. 21-44 — — — — —	697
Tablica 21-4. Pregled radio-stanica koje služe kao standardi frekvencije — — — — —	700
Tablica 21-5. SWR, koeficijent refleksije i reflektirana snaga — — — — —	707
Tablica 22-1. Podaci za dodatne antenske filtere kratkovalnih predajnika (sl. 22-4) — — — — —	726
Tablica 22-2. Kondenzatori i zavojnice za »poluvalni« filter, prema sl. 22-12 — — — — —	730
Tablica 22-3. Pregled frekvencija televizijskih kanala — — — — —	735
Tablica 24-1. RST-skala — — — — —	750
Tablica 24-2. Najčešće amaterske kratice — — — — —	751
Tablica 24-3. Najčešće Q-kratice — — — — —	753
Tablica 24-4. Značenje kratica za vrijeme — — — — —	754
Tablica 24-5. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (I) — — — — —	755
Tablica 24-6. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (II) — — — — —	756
Tablica 24-7. Popis riječi za sricanje slova u vezama telefonijom (III) — — — — —	757
Tablica 25-1. Temperatura taljenja za različite težinske odnose kositra i olova u leguri za lemljenje — — — — —	761
Tablica 25-2. Standardni redovi vrijednosti otpora i kapaciteta — — — — —	763
Tablica 25-3. Značenje boja kod označivanja otpornika i kondenzatora (sl. 25-5 i sl. 25-6) — — — — —	764
Tablica 25-4. Značenje boja kod označavanja keramičkih kondenzatora (sl. 25-6f) — — — — —	765
Tablica 25-5. Temperaturni koeficijent kondenzatora sa tinjcem i sa papirom — — — — —	766
Tablica 25-6. Standardne dimenzije transformatorskih limova (sl. 25-7) — — — — —	766
Tablica 26-1. Pregled frekvencija kratkovalnih i ultrakratkovalnih amaterskih područja (za I. region IARU, prema zaključcima Svjetske konferencije o radio-vezama, Ženeva 1979) — — — — —	775

Tablica 26-2. Osnovne vrijednosti za izračunavanje članova filtera tipa Butterworth (za impedanciju 1Ω i frekvenciju 1 radijan/s), prema sl. 26-4 i sl. 26-5 — — — — —	776
Tablica 26-3. Prigušivanje (atenuacija) viših harmoničkih frekvencija niskopropusnim filterom tipa Chebyshev (dB) — — —	777
Tablica 26-4. Visokopropusni PI-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6a. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_g) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50Ω — — — — —	778
Tablica 26-5. Visokopropusni TE-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6b. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_g) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50Ω — — — — —	779
Tablica 26-6. Niskopropusni TE-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6c. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_g) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50Ω — — — — —	780
Tablica 26-7. Niskopropusni PI-filter tipa Chebyshev, sl. 26-6d. Osnovne vrijednosti za izračunavanje vrijede za frekvenciju (f_g) od 1 MHz i priključnu impedanciju od 50Ω — — — — —	781
Tablica 26-8. PI-atenuator, prema sl. 26-8a — — — — —	782
Tablica 26-9. TE-atenuator, prema sl. 26-8b — — — — —	782
Tablica 26-10. Napon i snaga u odnosu prema 1 mW na 50Ω (dBm) —	783
Tablica 26-11. Pregled domaćih feritnih prstenastih (toroidnih) jezgri («Iskra — Ljubljana»). Vidi sl. 26-9 — — — — —	784
Tablica 26-12. »Elvefer« feritni materijali za prstenaste (toroidne) jezgre — — — — —	785
Tablica 26-13. Podaci o bakrenim žicama za transformatore i pri- gušnice — — — — —	786
Tablica 26-14. Američke i britanske mjere za žicu i njihove vrijedno- sti u milimetrima — — — — —	788
Tablica 26-15. Preračunavanje dijelova inča (inch) u milimetre — —	789
Tablica 26-16. Niske frekvencije važne za elektroakustiku — — —	790
Tablica 26-17. Zvučna snaga muzičkih instrumenata i glasova — —	790
Tablica 26-18. Doba dana (UT) kada se može očekivati mogućnost amaterskih veza na velike daljine (DX) — — — — —	791
Tablica 26-19. Pregled najvažnijih simbola za crtanje shema — —	794

U prilogu knjizi: Štampane pločice i raspored sastavnih dijelova za kratkovalni primopredajnik »QRP-80«, prema opisu na str. 497 do 523.

PRILOG

**Štampane pločice i raspored sastavnih dijelova
za kratkovalni primopredajnik**

„QRP - 80“

**prema shemama i opisu u 16. poglavlju
(Primopredajnici), str. 497 do 523**

Konstruktori:

**dr Božo Metzger (YU2BR)
i Marijan Horn (YU2CO)**

**Ia i Ib: niskofrekventno, izlazno pojačalo sa
monitorom (zujalicom) — NFP/Z**

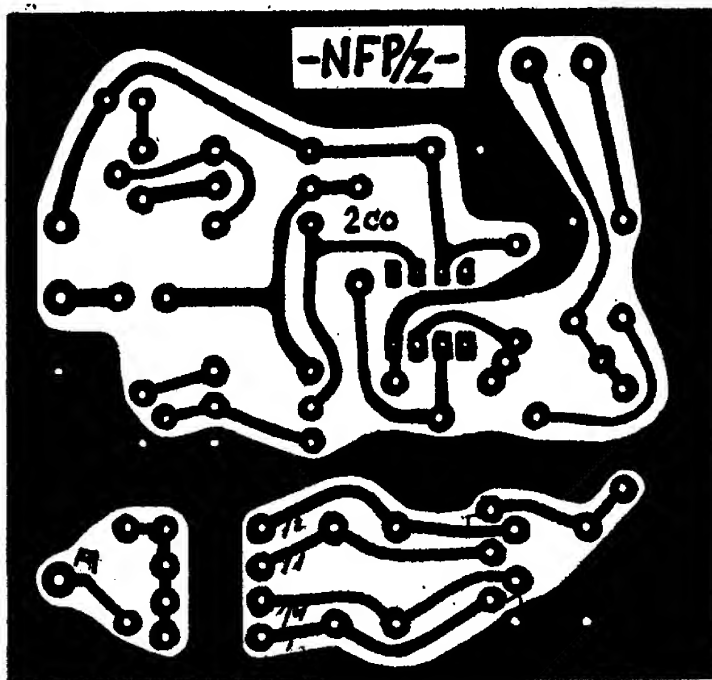
Ila i Ilb: oscilator promjenljive frekvencije — VFO

IIla i IIlb: 80-metarski prijemnik — RX

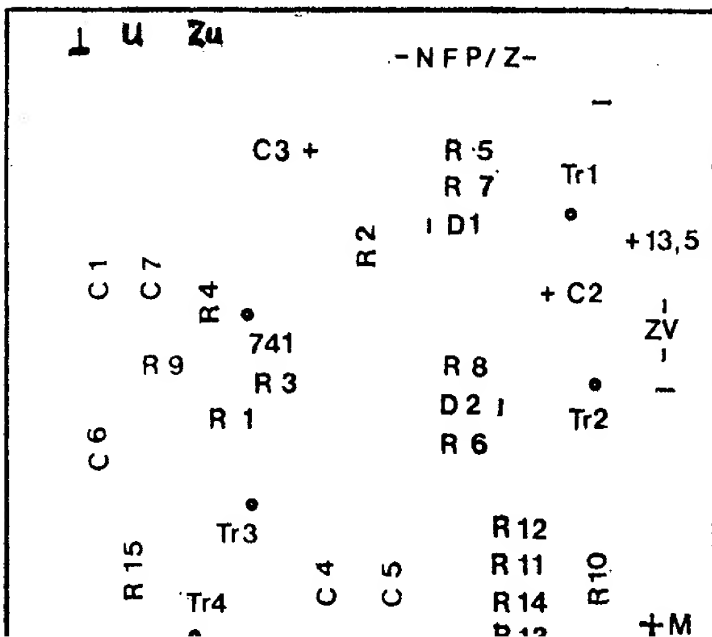
IVa i IVb: udvostručavač frekvencije — UF

Va i Vb: QRP predajnik — TX

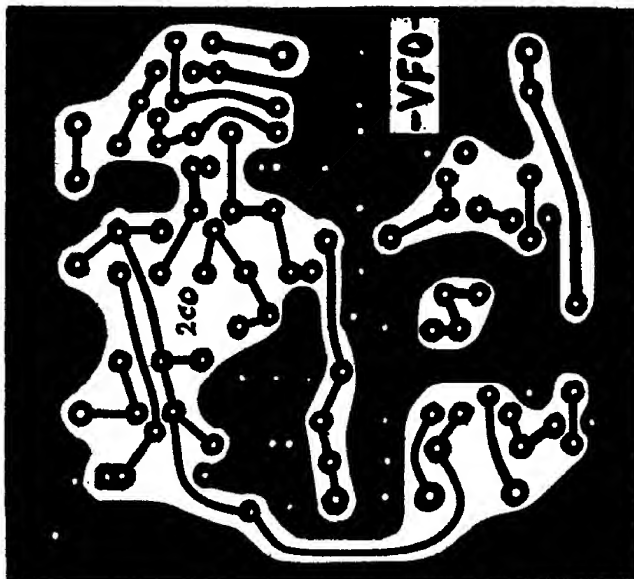
1a



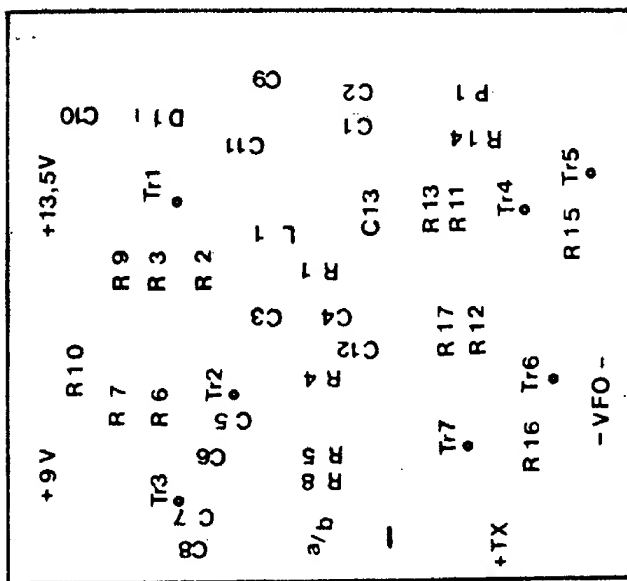
1b



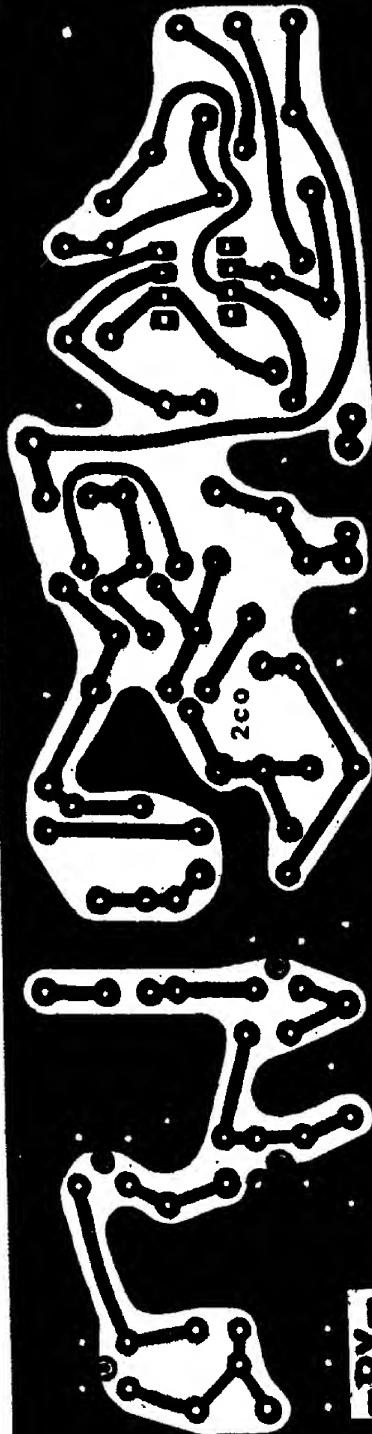
II a



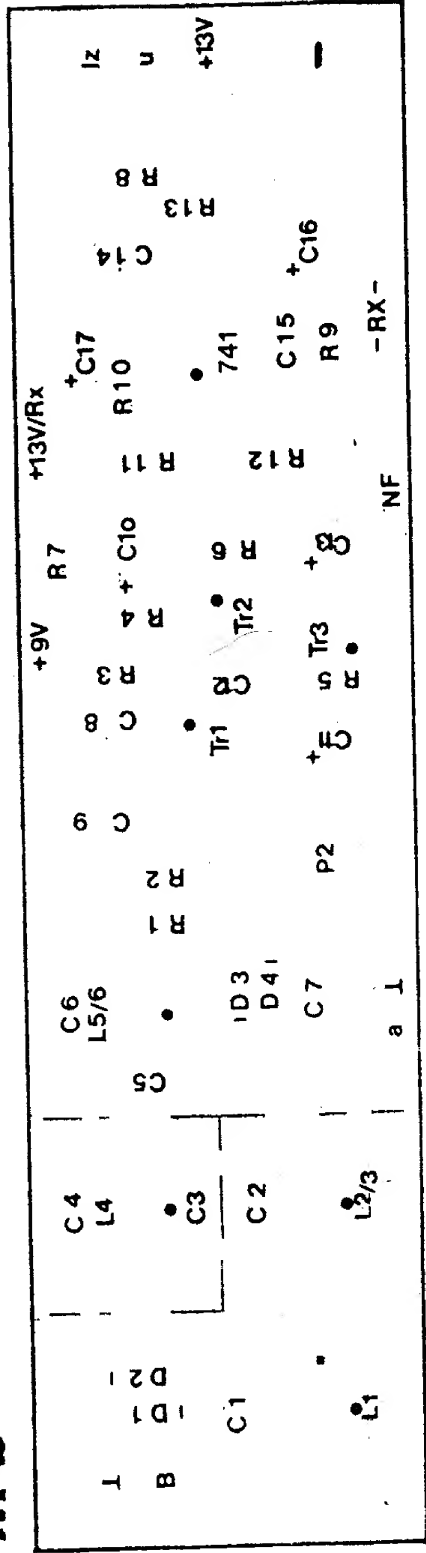
II b



III a



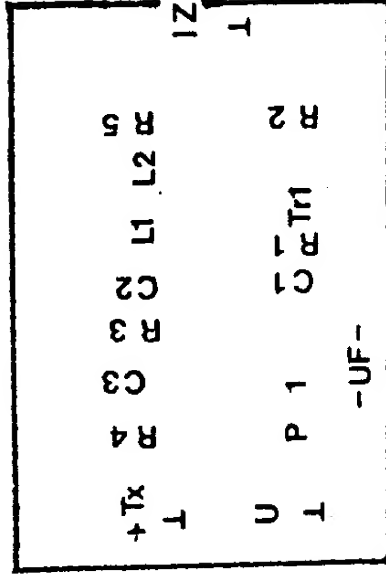
III b



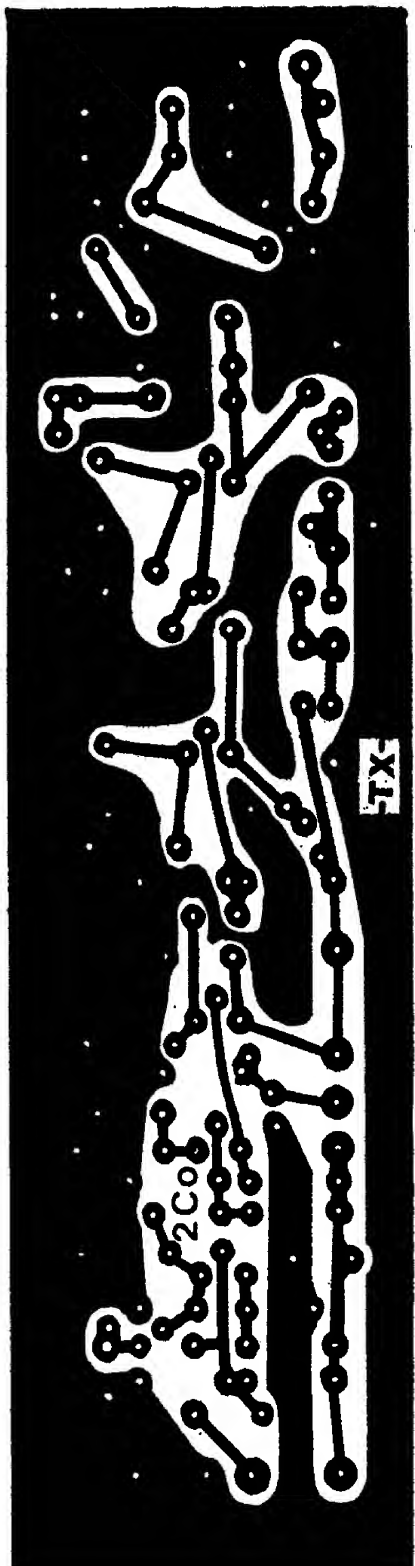
IV a



IV b



Va.



Vb

